DIE BECKENSTELLUNG IM STEHEN UND IM SITZEN

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Wiltrud Kroll

Saarbrücken
1973

Aus dem Institut für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule Köln

Leiter: Prof. Dr. med. Herbert Groh

DIE BECKENSTELLUNG IM STEHEN UND IM SITZEN

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1973

vorgelegt von

Wiltrud Kroll

geb. am 27. September 1939 in Berlin

Dekan: Prof. Dr. med. G. A. Jutzler

Referent: Prof. Dr. med. Herbert Groh

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 16.11.1973

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Verzeichnis der Abbildungen		V
Verzeichnis der Tabellen		VIII
1.	Einleitung	1
2.	Die Form des Beckens	3
2.1.	Beckenmaße	3
2.1.1.	Geburtshilfliche Beckenmaße	3
2.1.1.1.	Äußere Beckenmaße der Frau	3
2.1.1.2.	Beckentiefe, Beckenhöhe	5
2.1.1.3.	Conjugata anatomica	6
2.1.1.4.	Conjugata vera, Diameter diagonalis	7
2.1.1.5.	Beckeneingangsraum, Beckenhöhle, Beckenausgangsraum	8
2.1.1.6.	Führungslinie des Beckens	10
2.1.1.7.	Diameter transversa, Diameter obliqua dextra und sinistra	11
2.1.2.	Orthopädische Beckenmaße	12
2.1.2.1.	Sitzbeintangente	12
2.1.2.2.	Kreuzbeindeckplattentangente	13
2.1.2.3.	SK-Winkel	13
2.1.2.4.	Promontoriumswinkel	14
2.1.2.5.	Lumbosacralwinkel	15
2.1.2.6.	Neigungswinkel	16
2.1.2.7.	Kreuzbeinkrümmungssehne	17
2.1.3.	Biomechanische Beckenmaße	17

		Seite
2.1.3.1.	Funktionelle Beckenachsen	18
2.1.3.2.	BK-Winkel	18
2.1.3.3.	BS-Winkel	19
2.1.3.4.	KKS-Winkel	19
2.1.3.5.	BKS-Winkel	21
2.2.	Untersuchungsmaterial	21
2.3.	Untersuchungsmethode	22
2.4.	Untersuchungsergebnisse	29
2.4.1.	Funktionelle Beckenachsen	29
2.4.2.	BK-Winkel, BS-Winkel, SK-Winkel	30
2.4.3.	Kreuzbeinkrümmungssehne, KKS-Winkel, BKS-Winkel	31
2.4.4.	Keilform im Lumbosacralbereich	32
2.5.	Diskussion	33
2.5.1.	Funktionelle Beckenachsen, statische Beckenebene	33
2.5.2.	Die mit den Beckenachsen gebildeten Strukturwinkel	37
2.5.3.	Die Krümmung des Kreuzbeines	38
2.5.4.	Die an der Aufrichtung des Menschen beteiligten Elemente	43
2.6.	Das Becken in der Bewegung	44
3.	Das Becken im Stehen	49
3.1.	Definition der Beckenstellung	50
3.1.1.	Definition der Beckenstellung im Schrifttum	51
3.1.1.1.	Vorderdistanz a, Oberdistanz b, Promontoriumsdistanz c des Hüftgelenkes	51
3.1.1.2.	Beckenneigungswinkel	52

		Seite
3.1.1.3.	Hüftbeinneigungslinie	54
3.1.1.4.	Horizontalneigung	54
3.1.1.5.	Kreuzbeinneigungswinkel	55
3.1.2.	Definition der Beckenstellung aus biomechanischer Sicht	57
3.1.2.1.	Horizontale Gelenkdistanz d	57
3.1.2.2.	Horizontale Schwereliniendistanz s	58
3.1.2.3.	Beckenachsenwinkel δ	58
3.1.2.4.	Kreuzbeindeckplattenwinkel α	58
3.1.2.5.	Sitzbeintangentenwinkel β	59
3.2.	Untersuchungsmaterial und Untersuchungsmethode	59
3.3.	Untersuchungsergebnis	60
3.3.1.	Horizontale Gelenkdistanz d, horizontale Schwereliniendistanz s im Stehen	60
3.3.2.	Beckenachsenwinkel δ im Stehen	61
3.3.3.	Kreuzbeindeckplattenwinkel α, Sitzbeintangentenwinkel β	61
3.4.	Diskussion	62
3.4.1.	Die Beschreibung der Stellung des Beckens im Raum an Hand der biomechanischen Beckenmaße	62
3.4.2.	Konstruktion des "normalen" Beckens	67
4.	Das Becken im Sitzen	70
4.1.	Definition der Sitzhaltungen	70
4.1.1.	Die Sitzhaltungen im Schrifttum	70
4.1.2.	Die Sitzhaltungen nach dem äußeren Bild unter Berücksichtigung biomechanischer Aspekte	71

		Seite
4.2.	Untersuchungsmaterial	74
4.3.	Untersuchungsmethode	74
4.3.1.	Bestimmung des Partialschwerpunktes	74
4.3.2.	Schwerpunktwaage nach DALMUS	80
4.3.3.	Herstellung der Röntgenaufnahmen in den verschiedenen Sitzhaltungen	82
4.3.4.	Bestimmung der Körpergewichtsverteilung in den verschiedenen Sitzhaltungen	87
4.3.5.	Bestimmung des Körperschwerpunktweges beim Übergang vom Stehen zum Sitzen	87
4.4.	Untersuchungsergebnisse	89
4.4.1.	Der supraischiale Partialschwerpunkt	89
4.4.2.	Beckenachsenwinkel δ , Kreuzbeindeckplattenwinkel α in den 4 Sitzhaltungen	89
4.4.3.	Schwereliniendistanz s bei 20 Vpn	91
4.4.4.	Bewegung der LWS bei 10 Vpn	91
4.4.5.	Verteilung des Körpergewichts auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rückenlehne	93
4.5.	Diskussion	95
4.5.1.	Beckenrotation und Verlauf der Schwerelinie	95
4.5.2.	Bewegung der LWS	98
4.5.3.	Unterstützungsfläche und Verteilung des Körpergewichts auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rückenlehne	101
4.5.4.	Übergang vom Stehen zum Sitzen	104
5.	Zusammenfassung	109

		Seite
Literaturverzeichnis		X
Danksagung		XIII
Lebenslauf		XIV

Verzeichnis der Abbildungen

1	Distantia spinarum, cristarum und trochanterica (nach BENNINGHOFF)	4
2	Conjugata externa (nach BENNINGHOFF)	4
3	Beckentiefe, Beckenhöhe (nach LEGER)	5
4	Conjugata anatomica (nach BENNINGHOFF)	6
5	Conjugata vera, Diameter diagonalis (nach BENNINGHOFF)	7
6	Sagittalschnitt durch das knöcherne Becken mit den vier parallelen Ebenen (nach MARTIUS)	8
7	Frontalschnitt durch das knöcherne Becken (MARTIUS)	9
8	Sagittalschnitt durch den Geburtskanal mit der Führungslinie (nach MARTIUS)	10
9	Diameter transversa, Diameter obliqua, Diameter mediana (nach MARTIUS)	11
10	Sitzbeintangente, Kreuzbeindeckplattentangente, SK-Winkel (nach SCHOBERTH)	12
11	Promontoriumswinkel (nach JUNGHANNS)	14
12	Lumbosacralwinkel (nach JUNGHANNS)	15
13	Neigungswinkel (ALBRECHT)	16

		Seite
14	Kreuzbeinkrümmungssehne KS, größte Bogenhöhe h	17
15	Funktionelle Beckenachsen, seitliche Projektion (GROH)	18
16	BK-Winkel	19
17	BS-Winkel	20
18	KKS-Winkel	20
19	BKS-Winkel	21
20 a	Röntgenpause des Beckens	23
20 b	Röntgenpause mit eingezeichneten Hilfslinien	23
21	Konstruktion des Mittelpunktes des Lumbosacralgelenkes	25
22	Konstruktion des Umrisses des SWK I	27
23	Statische Beckenebene	28
24	Funktionelle Beckenachsen, quere Hüftgelenkachse	35
25	"Beckenring" mit eingezeichneten 2 Gelenkdreiecken	36
26 a	Sacrum acutum	39
26 b	Sacrum arcuatum (nach EXNER)	39
27	Kreuzbeintypen A bis D (nach SCHOBERTH)	42
28	Beckenrotation	46
29	Körperschwerpunkt und Unterstützungsfläche im Stehen und im Sitzen	50
30	Vorderdistanz, Oberdistanz, Promontoriumsdistanz	52
31	Beckenneigungswinkel	53
32	Hüftbeinneigungslinie (nach FICK)	54
33	Horizontalneigung (nach SCHOBERTH)	55
34	Kreuzbeinneigungswinkel	56

		Seite
35	Horizontale Gelenkdistanz d, horizontale Schwereliniendistanz s	57
36	Beckenachsenwinkel δ , horizontale Gelenkdistanz	58
37	Kreuzbeindeckplattenwinkel α , Sitzbeintangentenwinkel β	59
38	Das "normale" Becken	68
39	Die 4 Sitzhaltungen nach dem äußeren Bild	72
40	Schwerpunktradien nach FISCHER (bei HOCHMUTH)	76
41	Kraftrichtung und Drehmoment (nach HOCHMUTH)	76
42	Supraischialer Partialschwerpunkt	78
43	Schwerpunktwaage nach DALMUS (Querschnitt)	81
44	Schwerpunktwaage nach DALMUS (Vorderansicht)	82
45	Röntgenaufnahmen im Sitzen - Versuchsanordnung mit Vp	84
46	Krümmungskurve der LWS	85
47	Übergang vom Stehen zum Sitzen	88
48	Die quere Hüftgelenkachse als Drehachse	96
49	Röntgenpausen der LWS in den 4 Sitzhaltungen	100
50	Anteil des Beckens an der Beugebewegung der Oberschenkelachse gegen die Rumpfachse	105
51	Schwerpunktweg beim Übergang vom Stehen zum Sitzen	108

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
1	Länge der funktionellen Beckenachsen in ihrer seitlichen Projektion bei 100 Vpn	29
2	BK-Winkel, BS-Winkel, SK-Winkel bei 112 Vpn	31
3	Länge l der Kreuzbeinkrümmungssehne, größte Bogenhöhe h bei 20 Vpn	32
4	KKS-Winkel, BKS-Winkel bei 20 Vpn	32
5	Keilform im Lumbosacralbereich bei 112 Vpn	33
6	Kreuzbeinkrümmungstypen nach SCHOBERTH	41
7	Beckenrotation um die quere Hüftgelenkachse	45
8	Horizontale Gelenkdistanz d und horizontale Schwereliniendistanz s bei 112 Vpn	60
9	Beckenachsenwinkel δ , Kreuzbeindeckplattenwinkel α , Sitzbeintangentenwinkel β bei 112 Vpn	61
10	Relativgewichte der Körperteile des Menschen (FISCHER und BERNSTEIN, zit. bei HOCHMUTH)	75
11	Ermittlung des supraischialen Partialschwerpunktes	79
12	Beckenachsenwinkel δ in den 4 Sitzhaltungen bei 20 Vpn	90
13	Kreuzbeindeckplattenwinkel α in den 4 Sitzhaltungen bei 20 Vpn	90
14	Schwereliniendistanz s bei 20 Vpn in den verschiedenen Sitzhaltungen	91
15	Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten Sitzhaltung bei 10 Vpn	92

		Seite
16	Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der mittleren, angespannten zur vorderen Sitzhaltung bei 20 Vpn	92
17	Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der vorderen zur hinteren Sitzhaltung bei 10 Vpn	93
18	Die Belastung der Sitzfläche in Prozent des Körpergewichts bei 20 Vpn	94
19	Die Belastung der Fußunterlage in Prozent des Körpergewichts bei 20 Vpn	94
20	Horizontalkomponenten des Körpergewichts auf Sitzfläche und Fußunterlage in der hinteren Sitzhaltung bei 11 Vpn	95

1. Einleitung

Die Frage der Stellung des menschlichen Beckens im Stehen und im Sitzen ist mehrfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen, ohne daß das Problem einer Lösung zugeführt wurde. Es schien daher angebracht, diese Frage erneut aufzugreifen.

Zu diesem Zweck wurden die statischen Verhältnisse des Bekkens an 120 seitlichen Beckenaufnahmen in 4 Sitzhaltungen von 30 männlichen Versuchspersonen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren untersucht. Darüber hinaus stellte die Orthopädische Universitätsklinik Köln (Direktor: Prof. Dr. Imhäuser) in dankenswerter Weise 232 seitliche Becken-Wirbelsäulenganzaufnahmen im Stehen zur Auswertung zur Verfügung.

Es wurde unterschieden zwischen den Strukturwinkeln und -linien einerseits, sowie den Stellungswinkeln und -linien andererseits. Die Strukturwinkel und -linien sollten Auskunft geben über die Beckenform. Die Stellungswinkel und -linien sollten Auskunft geben über die statischen Beziehungen, die zwischen dem Becken - sowohl im Stehen als auch im Sitzen - und der Schwerelinie, der Wirbelsäule sowie der queren Hüftgelenkachse bestehen. Ausgangspunkt waren die bisher in der Literatur niedergelegten Befunde.

Es wurde Wert darauf gelegt, daß transversale Beckenebenen, deren Durchmesser für den Geburtshelfer von Bedeutung sind, nicht als Ausgangspunkt der Untersuchungen dienten. Es wurde vielmehr versucht, Beckenlinien und Beckenwinkel in bezug zur

Schwerelinie zu setzen, um damit biomechanischen, insbesondere statischen Fragestellungen näher zu kommen.

Dabei zeigte sich, daß sich das Problem der Beckenstellung im Stehen und im Sitzen im wesentlichen reduzieren läßt auf zwei Fragen:

1. Die Stellung der Beckenachse zur Schwerelinie
2. Die Stellung der Kreuzbeindeckplatte zur Schwerelinie.

Diesen Überlegungen entspricht die Einteilung der Darstellung in:

1. Die Form des Beckens
2. Das Becken im Stehen
3. Das Becken im Sitzen

2. Die Form des Beckens

2.1. Beckenmaße

Über die Form des Beckens geben Auskunft die Strukturlinien und Strukturwinkel als beckeneigene Maße, die keine Abhängigkeit zum Raum zeigen.

2.1.1. Geburtshilfliche Beckenmaße

Das Becken als Durchtrittskanal für den Fetus ist wiederholt Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Die folgende Zusammenstellung soll einen allgemeinen Überblick geben über die im Schrifttum genannten geburtshilflichen Beckenmaße.

2.1.1.1. Äußere Beckenmaße der Frau (Abb. 1 und 2)

a) Die Distantia spinarum als Entfernung zwischen beiden Spinae iliacae ant. sup. beträgt 23,8 - 27,6 cm.

b) Die Distantia cristarum als größte Entfernung zwischen beiden äußeren Lippen der Darmbeinkämme wird auch als Beckenbreite bezeichnet und beträgt 27,3 - 30,8 cm.

c) Die Distantia trochanterica ist der Abstand zwischen beiden Trochanteren. Sie beträgt 30,8 - 34,2 cm.

d) Die Conjugata externa ist der Abstand zwischen der Symphyse und dem 5. Lendenwirbeldorn und be-

trägt 19,3 - 22,1 cm.

Mit zunehmender Körpergröße nehmen die Beckenmaße zu. Die äußeren Beckenmaße der Frau haben nur für den Geburtshelfer Bedeutung.

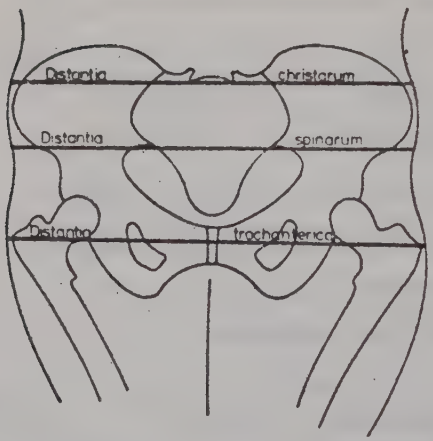

Abb. 1 Distantia spinarum, cristarum und trochanterica (nach BENNINGHOFF, 1960)

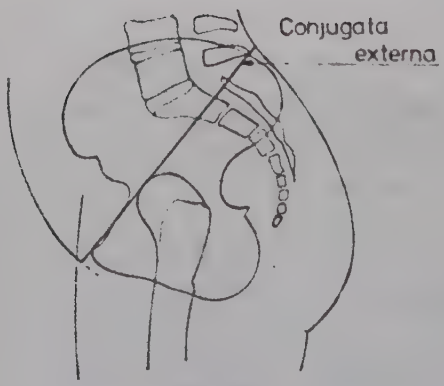

Abb. 2 Conjugata externa (nach BENNINGHOFF, 1960)

2.1.1.2. Beckentiefe, Beckenhöhe (Abb. 3)

Die B e c k e n t i e f e (LEGER, 1959) ist gegeben durch zwei lotrechte Tangenten an die vordere Begrenzung der Symphyse und den hinteren Rand des Kreuzbeines. Sie beträgt nach LEGER im Mittel 15 - 18 cm.

Die B e c k e n h ö h e (LEGER, 1959) ist gegeben durch den senkrechten Abstand der Oberkante des Darmbeinkammes vom Tuber ischii. LEGER nennt keine absoluten Werte. Er erwähnt lediglich, daß Beckenhöhe und Beckentiefe eine Längendifferenz von nicht mehr als 1 - 2 cm aufweisen, wobei einmal die Bekkenhöhe, einmal die Beckentiefe überwiegen kann. Es besteht kein Geschlechtsunterschied.

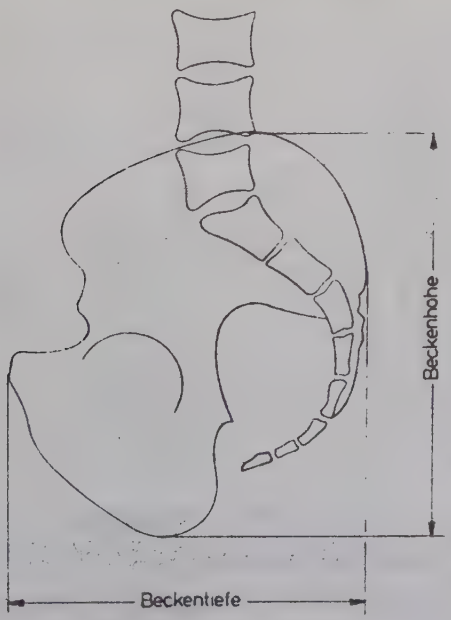

Abb. 3 Beckentiefe, Bekkenhöhe (nach LEGER, 1959)

Der Nachteil dieser Maße ist, daß ihre Werte sich je nach Beckenstellung ändern und damit keine eindeutige Aussage über die Größe des Beckens erlauben.

2.1.1.3. Conjugata anatomica (Abb. 4)

Als C o n j u g a t a a n a t o m i c a wird der sagittale Abstand des Promontoriums vom oberen Rand der Symphyse bezeichnet. Sie mißt durchschnittlich beim Mann 11,5 cm, bei der Frau 11,7 cm (BRAUS, 1954).

Als P r o m o n t o r i u m (Promunturium) oder auch Vorgebirge wird "die für den Menschen typische scharfe Abknikkung" (BENNINGHOFF, 1960) zwischen Kreuzbein und Lendenwirbelsäule bezeichnet.

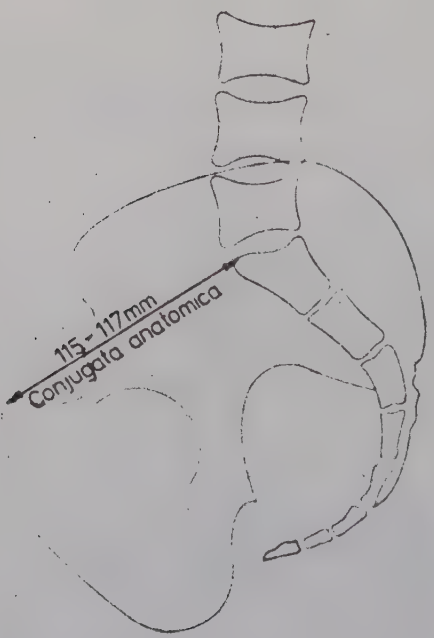

Abb. 4 Conjugata anatomica
(nach BENNINGHOFF, 1960)

Die Länge der Conjugata anatomica ist für den Geburtshelfer von entscheidender Bedeutung. Für die Statik des Beckens hat sie keine Aussagekraft.

2.1.1.4. Conjugata vera, Diameter diagonalis (Abb. 5)

Unter C o n j u g a t a v e r a oder Diameter mediana versteht man die Distanz zwischen Promontorium und dem Punkt an der Hinterfläche der Symphyse, der dem Promontorium am nächsten gelegen ist. Dieser Punkt liegt etwa in der Mitte der Symphysenhinterfläche. Die Conjugata vera beträgt bei der Frau durchschnittlich 11,0 cm. Beim Mann ist das Maß meist etwas kleiner (BENNINGHOFF, 1960).

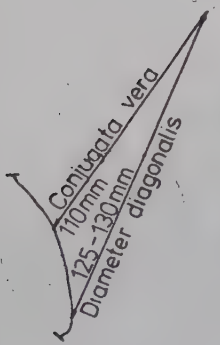

Abb. 5 Conjugata vera, Diameter diagonalis (nach BENNINGHOFF, 1960)

Als D i a m e t e r d i a g o n a l i s wird die Distanz zwischen Promontorium und unterem Schamfugenrand bezeichnet.

Er ist 1,5 cm bis 2,0 cm länger als die Conjugata vera und bei der lebenden Frau direkt zu messen (BENNINGHOFF, 1960).

Sowohl die Conjugata vera als auch der Diameter diagonalis geben dem Geburtshelfer Auskunft darüber, ob der Geburtskanal weit genug ist für den Durchtritt des Kindes.

2.1.1.5. Beckeneingangsraum, Beckenhöhle, Beckenausgangsraum (Abb. 6 und 7)

Der B e c k e n e i n g a n g s r a u m wird gebildet durch zwei parallele Ebenen. Die erste Ebene grenzt ihn vom großen Becken ab. Ihr Längsdurchmesser ist die Conjugata anatomica. Die zweite Ebene wird als T e r m i n a l e b e n e bezeichnet, da ihre seitliche Begrenzung die Linea terminalis ist. Schräg durch den Beckeneingangsraum verläuft die Conjugata vera. Der quere Durchmesser des Beckeneingangsraumes liegt

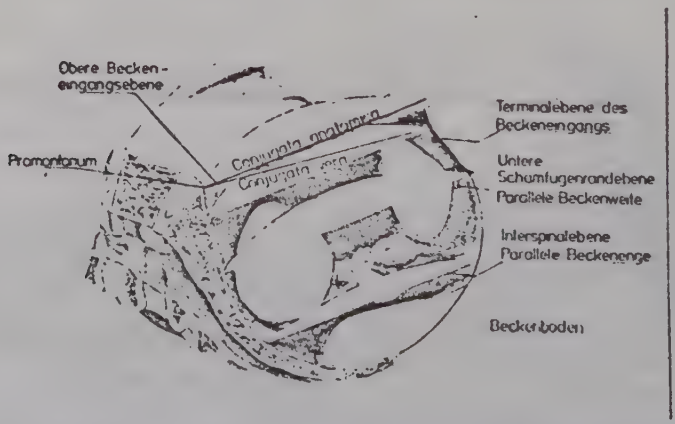

Abb. 6 Sagittalschnitt durch das knöcherne Becken mit den vier parallelen Ebenen (nach MARTIUS, 1964)

in der Terminalebene und verbindet die am weitesten voneinander entfernt gelegenen Punkte der Terminallinie miteinander. Er beträgt 13,0 - 13,5 cm.

Die B e c k e n h ö h l e ist gegen den Beckeneingangsraum durch die Terminalebene abgegrenzt. Parallel zu dieser verlaufen durch die Beckenhöhle zwei Ebenen, die u n t e r e S c h a m f u g e n r a n d e b e n e und die I n t e r s p i n a l e b e n e . Die untere Schamfugenrandebene hat annähernd Kreisform mit einem Durchmesser von 12,0 - 12,5 cm. Die Interspinalebene ist durch die Spinae ossis ischii gelegt. Ihr Querdurchmesser, auch Interspinallinie genannt, verläuft zwischen diesen und beträgt 10,5 cm.

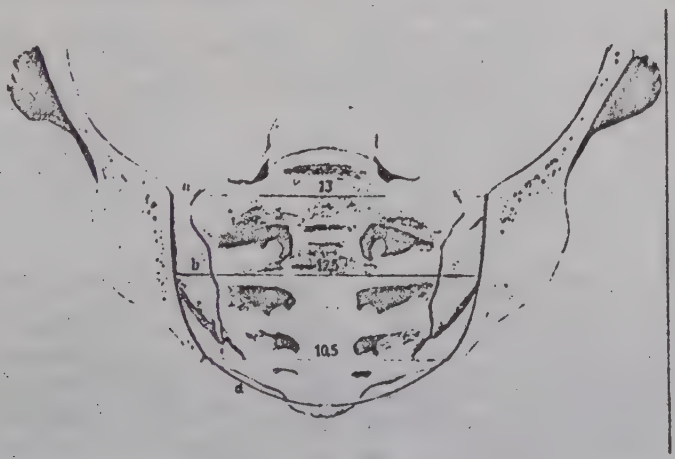

Abb. 7 Frontalschnitt durch das knöcherne Becken (Maße in cm) a = Querdurchmesser der Terminalebene, b = Querdurchmesser der unteren Schamfugenrandebene, c = Interspinallinie, d = Beckenboden (nach MARTIUS, 1964)

Der **Beckenausgang** hat einen Sagittaldurchmesser, der vom unteren Schamfugenrand zur Spitze des Steißbeines verläuft und 9 cm beträgt. Wird das Steißbein unter der Geburt zurückgedrängt, kann der Sagittaldurchmesser bis auf 11 cm erweitert werden. Der Querdurchmesser des Beckenausgangsraumes verbindet die beiden Tubera ossis ischii miteinander und hat eine Länge von 11 cm.

2.1.1.6. Führungslinie des Beckens (Abb. 8)

Die **Führungslinie** des Beckens ist die Linie, die die Mittelpunkte der Beckenebenen miteinander verbindet. Sie wird auch als Axis pelvis oder Beckenachse bezeichnet. Es soll hier ausdrücklich betont werden, daß diese "Beckenachse" nichts aussagt über die Statik des Beckens, sondern sich ausschließlich auf den Geburtskanal bezieht. Der Begriff "Achse" sollte in diesem Zusammenhang vermieden werden.

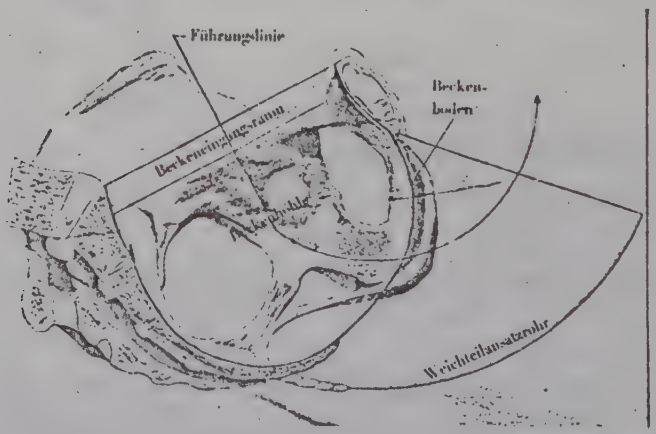

Abb. 8 Sagittalschnitt durch den Geburtskanal mit der Führungslinie (MARTIUS, 1964)

2.1.1.7. Diameter transversa, Diameter obliqua dextra und sinistra (Abb. 9)

Der D i a m e t e r t r a n s v e r s a ist der quere Durchmesser des Beckeneinganges und beträgt durchschnittlich 13,5 cm.

Der D i a m e t e r o b l i q u a ist der schräge Durchmesser des Beckeneinganges. Er stellt die Verbindungslinie von der Mitte der Articulatio sacroiliaca zur Eminentia iliopectinea der anderen Seite dar. Der erste schräge Durchmesser (Diameter obliqua dextra oder prima) verläuft von rechts hinten nach links vorne. Der zweite schräge Durchmesser (Diameter obliqua sinistra oder secunda) kreuzt den ersten.

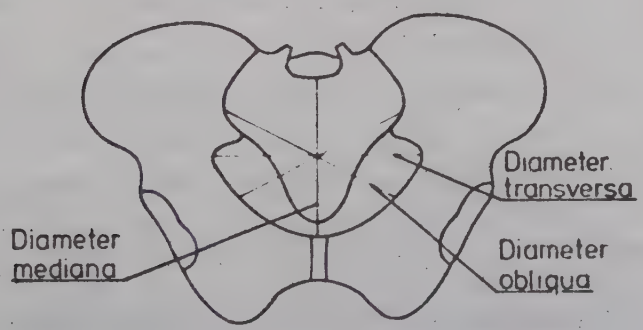

Abb. 9 Diameter transversa = querer Durchmesser
Diameter obliqua = schräger Durchmesser
Diameter mediana = Conjugata vera
(nach MARTIUS, 1964)

Diese Beckenebenen, ebenso wie die Diameter und die Führungslinie des Beckens, haben lediglich Bedeutung für den Geburtshelfer.

2.1.2. Orthopädische Beckenmaße

Das Becken als Fundament der Wirbelsäule ist für den Orthopäden von Bedeutung. Die folgende Übersicht soll einen allgemeinen Überblick geben über die im Schrifttum genannten orthopädischen Beckenmaße.

2.1.2.1. Sitzbeintangente (Abb. 10)

Der Begriff der S i t z b e i n t a n g e n t e wurde von SCHOBERTH (1962) eingeführt. Er ging davon aus, daß die Incisurae ischiadica major und minor sich im seitlichen Röntgen-

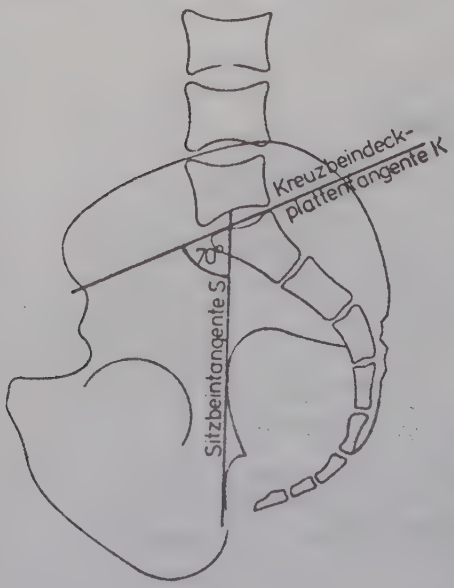

Abb. 10 Sitzbeintangente, Kreuzbeindeckplattentangente, SK-Winkel (nach SCHOBERTH, 1962)

bild gut darstellen. Als Sitzbeintangente bezeichnete er die Tangente an die Scheitelpunkte dieser beiden Bögen. Sie diente ihm zur Definition der Stellung des Beckens im Raum. Es handelt sich dabei um eine willkürlich gewählte Beckenlinie.

2.1.2.2. Kreuzbeindeckplattentangente (Abb. 10)

Die K r e u z b e i n d e c k p l a t t e n t a n g e n t e ist die Tangente, die gelegt wird an die ventrale und dorsale Oberkante der Deckplatte des ersten Sacralwirbels. Die Deckplatte wird auch als Kreuzbeinbasis bezeichnet.

2.1.2.3. SK-Winkel (Abb. 10)

Als S K - W i n k e l (SCHOBERTH, 1962) wird der nach vorne und unten offene Winkel bezeichnet, den die Sitzbeintangente S mit der Kreuzbeindeckplattentangente K bildet. Er ist je nach Alter verschieden groß. Bis zum 10. Lebensjahr liegt er stets über 70°, bei Extremwerten bis zu 90°. Zwischen dem 10. und 40. Lebensjahr beträgt der SK-Winkel im Durchschnitt 70°. Jenseits des 40. Lebensjahres wird er kleiner und liegt zwischen 55° und 65° (SCHOBERTH, 1962).

Der SK-Winkel bleibt bei den Beckenbewegungen konstant, offensichtlich wegen des nahezu unbeweglichen Einbau's des Kreuzbeines ins Becken.

Der SK-Winkel gibt Auskunft über die Stellung der Kreuzbeindeckplatte zum Sitzbein.

2.1.2.4. Promontoriumswinkel (Abb. 11)

Der P r o m o n t o r i u m s w i n k e l ist der nach dorsal offene Winkel, der gebildet wird durch die beiden Tangenten an die Vorderflächen des LWK V und des SWK I (JUNGHANNS, 1957). Dieser Winkel beträgt bei Männern im Durchschnitt 129° (112° - 151°), bei Frauen im Durchschnitt 130° (115° - 156°). Somit besteht kein wesentlicher Geschlechtsunterschied. Der Winkel variiert stark, weil sowohl die V. Lendenbandscheibe und der V. Lendenwirbelkörper als auch der I. Kreuzbeinwirbel verschieden ausgeprägte Keilform haben. Auch verändert sich der Promontoriumswinkel zusätzlich bei Haltungswechsel infolge der Beweglichkeit des Lumbosacralgelenkes.

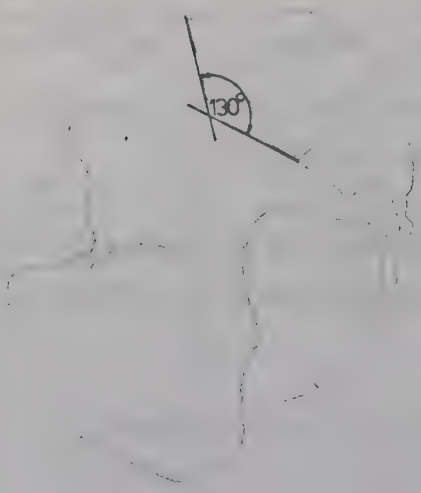

Abb. 11 Promontoriumswinkel (nach JUNGHANNS, 1957)

2.1.2.5. Lumbosacralwinkel (Abb. 12)

Der L u m b o s a c r a l w i n k e l ist der nach dorsal offene Winkel, den die Längsachsen der Wirbelkörper L V und S I miteinander bilden. Dieser Winkel beträgt im Durchschnitt bei Männern 142° (123° - 157°), bei Frauen 144° (124° - 164°) (JUNGHANNS, 1957).

Der Lumbosacralwinkel ist mit im Mittel 143° um 13° - 14° größer als der Promontoriumswinkel. Lumbosacralwinkel und Promontoriumswinkel sollen für den Orthopäden von Bedeutung sein. Inwieweit das zutrifft, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.

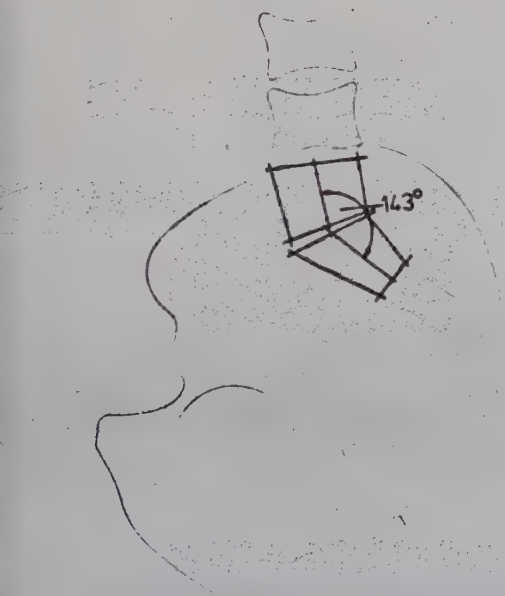

Abb. 12 Lumbosacralwinkel (nach JUNGHANNS, 1957)

2.1.2.6. Neigungswinkel (Abb. 13)

Der N e i g u n g s w i n k e l (ALBRECHT, 1953) ist der nach hinten offene Winkel, der durch die aus dem Schnittpunkt des vorletzten Lendenwirbelkörpers gefällte Senkrechte und die auf der Kreuzbeintragfläche aufgesetzte, durch den Schnittpunkt des präsacralen Wirbels laufende Senkrechte gebildet wird.

ALBRECHT begründet die Bildung des Neigungswinkels damit, daß der präsacrale Wirbel mehr als jeder andere Wirbel zu Form- und Stellungsänderungen neigt, er deshalb bei Winkelmessungen nicht hinzugezogen werden sollte. Zahlen werden nicht angegeben.

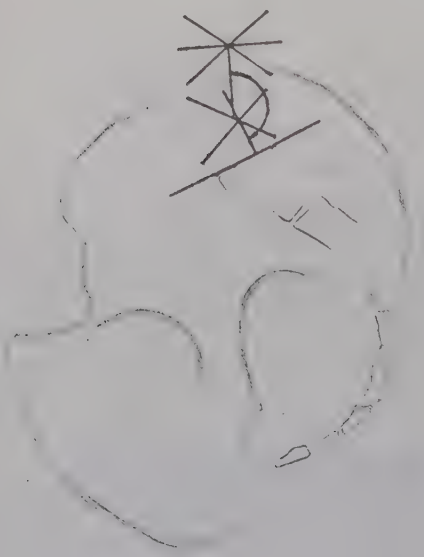

Abb. 13 Neigungswinkel (ALBRECHT, 1953)

2.1.2.7 Kreuzbeinkrümmungssehne (Abb. 14)

Die K r e u z b e i n k r ü m m u n g s s e h n e (SCHOBERTH, 1962) ist die Bogensehne, die durch Verbindung der beiden ventralen Endpunkte des Kreuzbeines als Kreisbogen gebildet wird. Der craniale Endpunkt der Kreuzbeinkrümmungssehne liegt auf der cranialen ventralen Kante des SWK I, der caudale Endpunkt auf der caudalen ventralen Kante des SWK V. Das Steißbein wird bei der Bildung der Kreuzbeinkrümmungssehne nicht berücksichtigt.

Abb. 14 Kreuzbeinkrümmungssehne KS, größte Bogenhöhe h

2.1.3. Biomechanische Beckenmaße

Bisher ist das Becken kaum aus der Sicht der Biomechanik untersucht worden, jener Bewegungslehre also, die "versucht,

Gesetzmäßigkeiten der menschlichen Körperbewegung zu analysieren" (GROH, 1968). Sie ist Schwerpunkt in der vorliegenden Arbeit. Innerhalb der Aufzählung der Strukturlinien und Strukturwinkel des Beckens sollen nun noch die von uns definierten biomechanischen Beckenmaße genannt werden.

2.1.3.1. Funktionelle Beckenachsen (Abb. 15)

Die f u n k t i o n e l l e n B e c k e n a c h s e n (GROH, 1970) sind die Verbindungslinien des Mittelpunktes des Lumbosacralgelenkes mit dem jedes Hüftgelenkes.

Abb. 15 Funktionelle Bekkenachsen (seitliche Projektion; GROH, 1970)

2.1.3.2. BK - Winkel (Abb. 16)

Den B K - W i n k e l definierten wir als den nach vorne

und unten offenen Winkel zwischen der Beckenachse B und der Kreuzbeindeckplattentangente K.

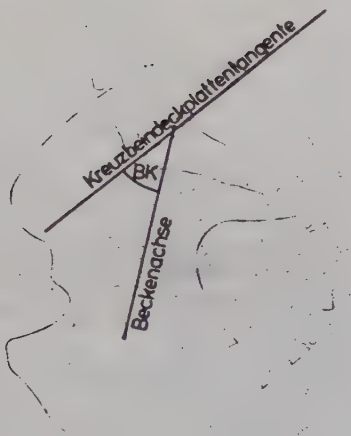

Abb. 16 BK - Winkel

2.1.3.3. BS - Winkel (Abb. 17)

Als B S - W i n k e l definierten wir den nach vorne und unten offenen Winkel zwischen der Beckenachse B und der Sitzbeintangente S.

2.1.3.4. KKS - Winkel (Abb. 18)

Den K K S - W i n k e l definierten wir als den nach vorne und unten offenen Winkel zwischen der Kreuzbeindeckplattentangente K und der Kreuzbeinkrümmungssehne KS.

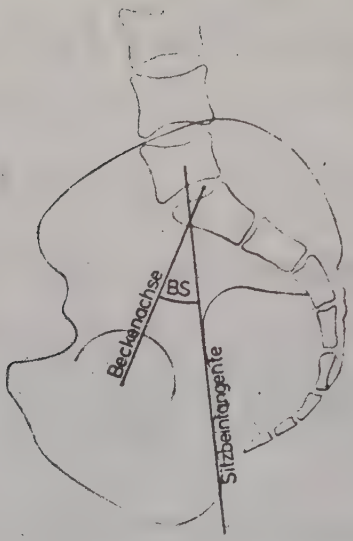

Abb. 17 BS - Winkel

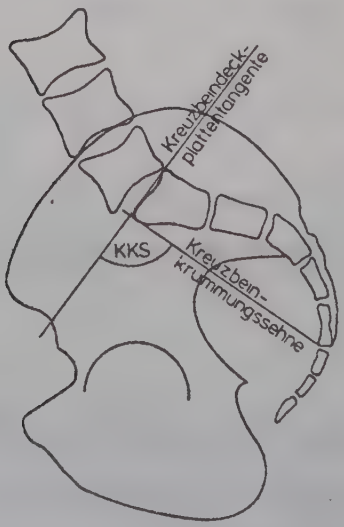

Abb. 18 KKS - Winkel

2.1.3.5. BKS - Winkel (Abb. 19)

Als B K S - W i n k e l bestimmten wir den nach vorne und unten offenen Winkel zwischen der Beckenachse B und der Kreuzbeinkrümmungssehne KS.

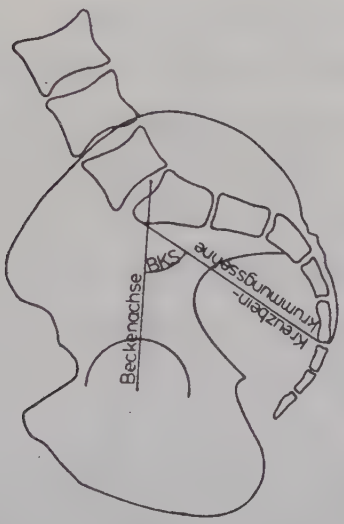

Abb. 19 BKS - Winkel

2.2. Untersuchungsmaterial

Zur Untersuchung der Form des Beckens und seiner Stellung im Raum stellte uns freundlicherweise die Orthopädische Universitätsklinik Köln die 250 Röntgenbilder zur Verfügung, die Herr Professor LEGER in den Jahren 1956 - 57 anfertigen ließ für seine Arbeit: "Die Form der Wirbelsäule mit Untersuchungen über ihre Beziehungen zum Becken und die Statik der aufrechten Haltung". Es sind Wirbelsäulenganzaufnahmen von ge-

sunden Versuchspersonen (Vpn), die auf einer Gleichgewichtswaage standen. Ein Metallot, das vor der Röntgenkassette hing, schnitt die Mitte der Waage. So zeigte das Metallot die Schwerelinie der Vpn an, wenn diese so auf der Waage standen, daß sich ihr Körperschwerpunkt über der Mittellinie der Waage befand.

Für unsere Zwecke konnten von diesen 250 Röntgenbildern insgesamt 112 ausgewertet werden. Davon waren 100 von Erwachsenen im Alter zwischen 18 und 40 Jahren (44 männliche Vpn und 56 weibliche Vpn). Die restlichen 12 Röntgenbilder waren von Kindern bis zu 10 Jahren.

Zur Untersuchung der Form des Kreuzbeines stellten wir seitliche Röntgenaufnahmen des Beckens her von 20 männlichen Vpn im Alter zwischen 20 und 30 Jahren.

2.3. Untersuchungsmethode

Von den 112 Röntgenbildern im transversalen Strahlengang wurden Röntgenpausen angefertigt mit Einbeziehung folgender Konturen:

- die letzten 4 Lendenwirbelkörper
- das Kreuzbein mit der Kreuzbeindeckplatte
- die Crista iliaca
- die Incisurae ischiadica major und minor
- das Tuber ischiadicum
- die Hüftgelenkpfannen
- das Tuberculum pubicum
- die Schwerelinie

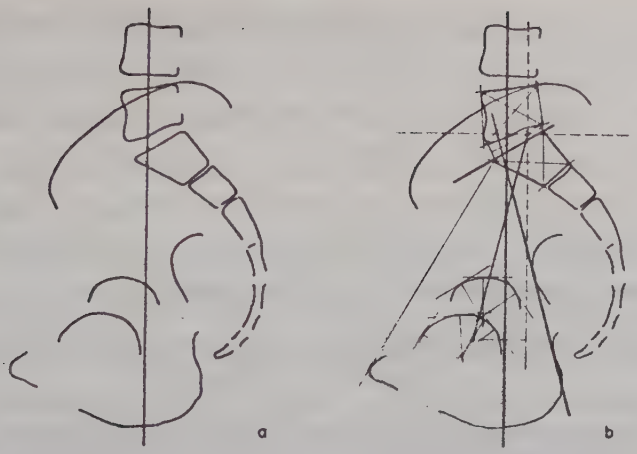

Abb. 20 a Röntgenpause des Beckens

20 b Röntgenpause mit eingezeichneten Hilfslinien

Die paarigen Knochenabschnitte des Beckens stellten sich zweifach dar, da der Zentralstrahl etwas proximal des Beckens eingestellt war. Wichtig war diese Tatsache nur bei den Hüftgelenken, die deshalb doppelt abgepaust wurden. Bei allen anderen doppelten Konturen (Darmbeinkämme, Tubera ischii) wurden nur die höher gelegenen, also der Röntgenplatte näheren berücksichtigt (Abb. 20 a).

Die Röntgenpausen konnten als maßstabgerecht bezeichnet werden, da der Focus-Film-Abstand je nach Körpergröße der Vp zwischen 2 und 3 m lag. Die Verzeichnung betrug nur wenige mm und konnte daher außer acht gelassen werden. Das Pausen mit der Hand war eine weitere mögliche Fehlerquelle. Wiederholtes Pausen derselben Röntgenaufnahme zeigte Abweichungen der Kon-

turen um 2 - 3 mm zu jeder Seite und eine Winkelvergrößerung oder -verkleinerung von 2° - 3°. Diese Fehlerbreite muß bei den folgenden Längen- und Winkelangaben berücksichtigt werden. Schließlich soll noch erwähnt werden, daß die von LEGER verwendete Schwerpunktwaage nicht exakt arbeitete, wie eigene Kontrollmessungen ergaben. Es war ein horizontaler Weg des Körperschwerpunktes von 1 - 2 cm erforderlich, bevor die Kontrollampen der Schwerpunktwaage dessen Verlagerung anzeigten.

In die Röntgenpausen wurden eingezeichnet die Conjugata anatomica, die Kreuzbeindeckplattentangente, die Sitzbeintangente und die Beckenachse.

Zur Darstellung der C o n j u g a t a a n a t o m i c a nahmen wir als festen Punkt des Promontoriums die vordere, obere Kante des ersten Sacralwirbelkörpers an. Da die Symphyse auf seitlichen Röntgenbildern nicht zu erkennen ist, wurde ihr oberer Rand dort angenommen, wo sich der obere Rand des Tuberculum pubicum darstellte.

Zur Darstellung der Beckenachsen mußten konstruiert werden:
- der Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes
- der Umriß des SWK I, wo nicht erkennbar
- die Hüftgelenkmittelpunkte

Zur Konstruktion des M i t t e l p u n k t e s d e s L u m b o s a c r a l g e l e n k e s wurde von dem letzten LWK und dem ersten SWK je ein umschreibendes Viereck gebildet. Der Wirbelkörpermittelpunkt wurde ermittelt, indem die

Schnittpunkte der 4 Tangenten diagonal miteinander verbunden wurden. Die Punkte, an denen die Diagonalen den Umriß des Wirbelkörpers trafen, wurden mit a bezeichnet (Abb. 21). Verband man den vorderen unteren Punkt a des LWK V und den vorderen oberen Punkt a des SWK I miteinander, so schnitt diese Linie die Tangenten an Grund- und Deckplatte der jeweiligen Wirbelkörper in den Punkten b. Auf der dorsalen Seite verfuhr man ebenso. Die Verbindungslinie bb wurde ventral und dorsal halbiert und ergab so die Punkte c_1 und c_2. Der Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes L lag auf der Verbindungslinie c_1c_2, und zwar an der Grenze zwischen mittlerem und hinterem Drittel.

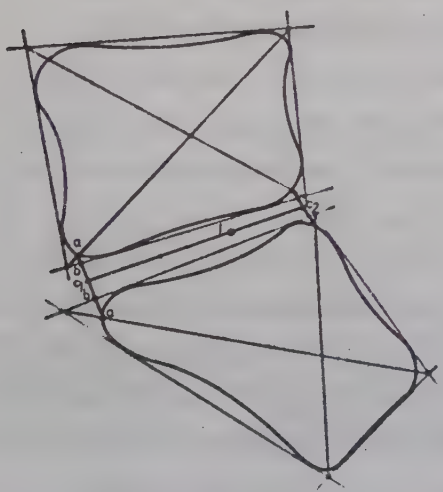

Abb. 21 Konstruktion des Mittelpunktes des Lumbosacralgelenkes

Durch den Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes wurde ein Ach-

senkreuz gelegt, dessen Ordinate der Raumsenkrechten und dessen Abszisse der Raumhorizontalen entsprach.

Die K o n t u r d e s S W K I war nicht immer genau gegen die des SWK II abgrenzbar, da bei einigen Vpn die Verschmelzung der Kreuzbeinwirbel bereits abgeschlossen war. SCHOBERTH (1962) hat in solchen Fällen einen Hilfspunkt konstruiert, indem er von der vorderen, oberen Kante der Kreuzbeindeckplatte mit Hilfe des Zirkels einen Kreisbogen mit dem Radius der Entfernung von der ventralen zur dorsalen Kreuzbeindeckplattenkante beschrieben hat. Durch den Schnittpunkt des Kreises mit der ventralen Kreuzbeinkontur legte er eine Parallele zur Kreuzbeindeckplatte und bildete so ein Viereck, das der Größe und Form des SWK I entsprechen sollte. Diese Konstruktion ist ungenau. Auf Grund eigener Beobachtungen stellten wir fest, daß die im Seitenbild sichtbare sagittale Deckplattenlänge der hinteren Höhe des SWK I entspricht. Wir beschrieben deshalb von der hinteren, oberen Kreuzbeinecke als Mittelpunkt einen Kreisbogen mit dem Radius der sagittalen Deckplattenlänge. Der Schnittpunkt dieses Kreisbogens mit der hinteren Kreuzbeinkontur ergab etwa die hintere, untere Begrenzung des SWK I. SCHOBERTH (1962) legte in seiner Hilfskonstruktion, wie oben beschrieben, eine Parallele zur Kreuzbeindeckplatte an. Das so entstehende Viereck entspricht aber nicht der wirklichen Form des SWK I, da der Winkel zwischen Grundplatte und dorsaler Begrenzung des SWK I normalerweise ein rechter ist und kein spitzer, wie er bei SCHOBERTH's Konstruktion entstand. Wir kamen also der wirklichen Form des SWK I am nächsten, indem wir auf der Tangente der hinteren

Begrenzung des SWK I eine Senkrechte errichteten, und zwar im Schnittpunkt des Kreisbogens mit dieser Tangente.

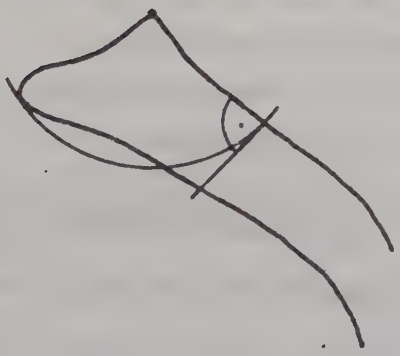

Abb. 22 Konstruktion des Umrisses des SWK I

Der Mittelpunkt des Hüftgelenkes und damit des Oberschenkelkopfes wurde konstruiert, indem 3 Tangenten an die äußere Kontur der Pfanne gelegt und darauf im jeweiligen Tangentenberührungspunkt Senkrechten errichtet wurden. Da die Kontur der Pfanne mit der Hand nachgezeichnet wurde und keinen gleichmäßigen Kreisbogen darstellte, bildeten die Senkrechten meist ein kleines Dreieck, in dessen Mitte wir den Mittelpunkt des Hüftgelenkes annahmen. Auf jeder Röntgenpause wurden 2 Hüftgelenkmittelpunkte entsprechend den beiden Pfannenkonturen eingezeichnet. Verband man diese beiden Mittelpunkte miteinander, so lag in der Mitte dieser Ver-

bindungslinie der Punkt H der queren Hüftgelenkachse. Der Punkt H liegt in der Sagittalebene durch den Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes.

Die B e c k e n a c h s e n schließlich wurden ermittelt, indem die Punkte L (Lumbosacralgelenk) und H (Hüftgelenk) miteinander verbunden wurden. Diese Verbindung LH stellte die seitliche Projektion der statischen Beckenebene dar, in der die beiden Beckenachsen LH_1 und LH_2 lagen (Abb. 23).

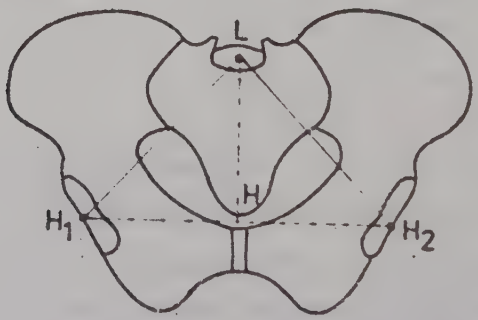

Abb. 23 Statische Beckenebene

Zur Bestimmung der K e i l f o r m der Wirbelkörper und Bandscheiben wurden Tangenten angelegt an die betreffenden Grund- und Deckplatten. Die Keilform läßt sich ausdrücken in Grad der Abweichung der Tangenten voneinander.

Die 20 Vpn, die sich uns für unsere eigenen Röntgenaufnahmen des Beckens im transversalen Strahlengang zur Verfügung ge-

stellt hatten, ließen wir eine mittlere angespannte Sitzhaltung (siehe 4.1.2.) einnehmen. Das Röntgengerät war ein Siemens-Tridorus-55-Gerät. Der Film-Fokus-Abstand betrug 1 m. Der Schutz der Genitale erfolgte durch einen Bleigummihandschuh. Auch von diesen Aufnahmen stellten wir Röntgenpausen her und zeichneten folgende Strukturlinien ein:

- die Kreuzbeindeckplattentangente
- die Beckenachse
- die Kreuzbeinkrümmungssehne und ihre größte Bogenhöhe

2.4. Untersuchungsergebnisse

2.4.1. Funktionelle Beckenachsen (Tab. 1)

Die funktionellen Beckenachsen (siehe S. 18) haben in der seitlichen Projektion eine durchschnittliche Länge von 11 - 12 cm (Tab. 1).

Tab. 1 Länge der funktionellen Beckenachsen in ihrer seitlichen Projektion bei 100 Vpn

Geschlecht	Mittelwert (cm)	Standardabweichung (cm)	Variabilitätskoeffizient (%)
männlich	11,6	1,0	9,0
weiblich	11,8	0,9	8,5

Die wahre Länge der Beckenachse errechnet sich aus der auf die Sagittalebene projizierten Beckenachse nach dem Gesetz des Pythagoras, da die Strecken LH und HH_1 bzw. LH und HH_2

einen rechten Winkel miteinander bilden (Abb. 23). LH_1 bzw. LH_2 sind die funktionellen Beckenachsen. Es gilt also die Gleichung $LH^2 + HH^2 = LH_1^2$ (bzw. LH_2^2). Die beiden Hüftgelenkmittelpunkte, also die Punkte H_1 und H_2, sind bei Erwachsenen im Mittel 18 cm voneinander entfernt. Die Strecke HH_1 bzw. HH_2 beträgt demgemäß etwa 9 cm. Die Strecke LH wurde als auf die Sagittalebene projizierte Beckenachse mit etwa 12 cm ermittelt. Somit gilt:

$$12^2 + 9^2 = LH_1^2 \text{ (bzw. } LH_2^2)$$

$$LH_1 \text{ (bzw. } LH_2) = \sqrt{144 + 81}$$

$$= \sqrt{225}$$

$$LH_1 \text{ (bzw. } LH_2) = 15$$

Die funktionellen Beckenachsen sind bei 100 Erwachsenen durchschnittlich 15 cm lang.

2.4.2. BK - Winkel, BS - Winkel, SK - Winkel
(Tab. 2)

Der B K - W i n k e l (siehe S. 18) beträgt bei 100 Erwachsenen im Mittel 40° ohne Geschlechtsunterschied, bei 12 Kindern im Mittel 48° (Tab. 2).

Der B S - W i n k e l (siehe S. 19) beträgt durchschnittlich 28° - 30° bei 100 Erwachsenen und 26° bei 12 Kindern (Tab. 2).

Der S K - W i n k e l (SCHOBERTH, 1962) beträgt durchschnittlich 68° - 70° bei 100 Erwachsenen und 74° bei 12 Kindern (Tab. 2).

Tab. 2 BK - Winkel, BS - Winkel, SK - Winkel bei 112 Vpn

Winkel	Geschlecht	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
BK - Winkel	männl.	40,3	11,7	29,0
	weibl.	41,1	10,4	25,2
	kindl.	47,7	8,3	17,5
BS - Winkel	männl.	28,4	6,4	22,5
	weibl.	30,0	7,2	24,0
	kindl.	26,9	5,8	21,4
SK - Winkel	männl.	67,5	10,5	15,6
	weibl.	70,8	9,6	13,6
	kindl.	73,7	7,0	9,5

2.4.3. Kreuzbeinkrümmungssehne, KKS - Winkel, BKS - Winkel (Tab. 3 und 4)

Die K r e u z b e i n k r ü m m u n g s s e h n e (siehe S. 17) ist bei 20 männlichen Vpn durchschnittlich 16 cm lang. Dabei zeigt ihre größte Bogenhöhe einen Wert von etwa 3,5 cm (Tab. 3).

Der K K S - W i n k e l (siehe S. 19) beträgt bei 20 Vpn im Mittel 90° (Tab. 4).

Der B K S - W i n k e l (siehe S. 21) beträgt bei 20 Vpn im Mittel 55° (Tab. 4).

Tab. 3 Länge l der Kreuzbeinkrümmungssehne, größte Bogenhöhe h bei 20 Vpn

	Mittelwert (cm)	Standardabweichung (cm)	Variabilitätskoeffizient (%)
l	16,25	1,33	8,2
h	3,47	1,13	32,8

Tab. 4 KKS - Winkel, BKS - Winkel bei 20 Vpn

	Mittelwert (Grad	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
KKS - Winkel	91,5	9,3	10,2
BKS - Winkel	54,9	5,7	10,4

2.4.4. Keilform im Lumbosacralbereich (Tab. 5)

Unabhängig von Alter und Geschlecht entspricht bei 100 Erwachsenen und bei 12 Kindern die Keilform des SWK I einem Winkel von im Mittel 15°, die des LWK V einem von im Mittel 10° und die der LBS V ebenfalls einem Winkel von im Mittel 10° (Tab. 5).

Tab. 5 Keilform im Lumbosacralbereich bei 112 Vpn

	Geschlecht	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
SWK I	männl.	13,9	4,5	32,1
	weibl.	15,1	5,9	39,3
	kindl.	14,8	3,4	23,1
LBS V	männl.	11,4	6,1	53,1
	weibl.	8,6	5,2	60,0
	kindl.	11,1	5,4	48,2
LWK V	männl.	12,1	4,4	36,2
	weibl.	11,5	3,9	33,9
	kindl.	9,8	3,4	34,7

2.5. Diskussion

2.5.1. Funktionelle Beckenachsen, statische Beckenebene

Das knöcherne Becken ist ein weitgehend starrer Ring, der sich zusammensetzt aus dem Kreuzbein und den beiden symmetrischen Hüftbeinen, die ihrerseits aus dem Darmbein, dem Sitzbein und dem Schambein bestehen. Am Becken bestehen folgende Gelenke:

- die beiden Hüftgelenke als echte Gelenke
- das Lumbosacralgelenk als Halbgelenk
- die beiden Kreuzdarmbeingelenke als Amphiarthrosen
- die Symphyse als Synchondrose

Die beiden Hüftgelenke und das Lumbosacralgelenk stellen die gelenkigen Verbindungen mit den unteren Extremitäten einerseits und der LWS andererseits dar. Die beiden Kreuzdarmbeinfugen und die Symphysenfuge verbinden die einzelnen Beckenteile gelenkartig federnd miteinander.

Die Betrachtung des Beckens führte uns zu der Überlegung, daß es eine im Sinne der Biomechanik funktionelle Achse des Bekkens geben müsse. Hierbei griffen wir zurück auf die Definition einer Gliederachse, wie sie FISCHER (zit. bei FICK, 1910) entwickelte. Er verstand unter einer Gliederachse die mechanische Längsachse eines Gliedes, also die Verbindungslinie der Mittelpunkte des proximalen und distalen Gelenkes dieses Gliedes. Auf das Becken angewendet, ergeben sich aus den Verbindungslinien der Mittelpunkte beider Hüftgelenke H_1 und H_2 miteinander sowie von H_1 bzw. H_2 mit dem Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes L drei Gliederachsen: H_1H_2, LH_1 und LH_2. H_1H_2 ist die quere Hüftgelenkachse. LH_1 und LH_2 sind die f u n k t i o n e l l e n B e c k e n a c h s e n (GROH, 1970; Abb. 24). Trotz unterschiedlicher Größe und unterschiedlichen Gewichts der Vpn weisen sie bei Erwachsenen eine relativ konstante Länge auf (v = 8,5 % bei Frauen, v = 9 % bei Männern). Die funktionellen Beckenachsen zeigen im Gegensatz zu den gynäkologischen und auch den meisten orthopädischen Beckenmaßen keinen sicheren Geschlechtsunterschied in der Länge. Auf Längenmessungen bei Kindern verzichteten wir, da sich unser Untersuchungsmaterial auf Röntgenaufnahmen von 12 Kindern im Alter bis zu 10 Jahren beschränkte.

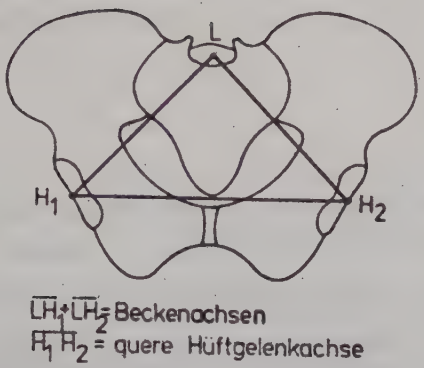

Abb. 24 Funktionelle Beckenachsen, quere Hüftgelenkachse

Die Mittelpunkte der Hüftgelenke sind die Mittelpunkte des jeweiligen Schenkelkopfes. Den Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes lokalisierten wir an der Grenze zwischen mittlerem und hinterem Drittel der horizontalen Medianachse der V. Bandscheibe (siehe S. 24). Folgende Überlegungen waren hierfür ausschlaggebend. Die Achsen aller möglichen Bewegungen zweier benachbarter Wirbelkörper gegeneinander verlaufen durch den Gallertkern der Zwischenwirbelscheibe (FICK, 1910). Nach mathematischer Gesetzmäßigkeit müßte der Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes auf Grund der angedeuteten Nierenform der aneinandergrenzenden Wirbel dorsal von seiner Mitte gelegen sein. Tatsächlich liegt auch im Brust- und Lendenbereich der Nucleus pulposus in der Ruhestellung näher zum Rückenmark (BENNINGHOFF, 1960).

Die funktionellen Beckenachsen und die quere Hüftgelenkachse

bilden miteinander ein gleichschenkliges Dreieck mit nach dorsal gerichteter Spitze. Die Fläche dieses Dreiecks H_1-H_2-L liegt in der s t a t i s c h e n B e c k e n e b e n e (GROH, 1970; Abb. 24).

Verbindet man die Mittelpunkte der beiden Kreuzdarmbeingelenke miteinander sowie jeweils mit dem der Symphyse, so entsteht ebenfalls ein gleichschenkliges Dreieck, wobei hier die Spitze nach ventral gerichtet ist. Diese drei gelenkigen Verbindungen des Beckens haben nur eine geringe Beweglichkeit, zumal sie zusätzlich durch stark entwickelte Bandzüge verstärkt sind. Ihnen kommt offensichtlich die Bedeutung zu, aus dem starren Beckenring einen f e d e r n d e n Ring zu machen.

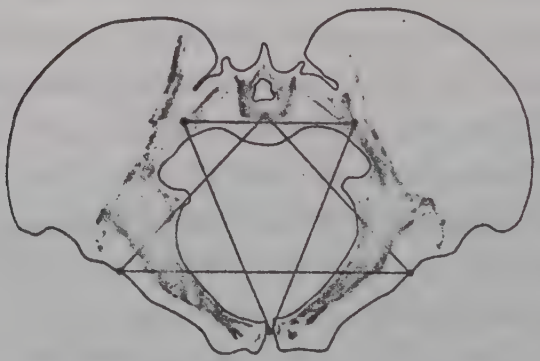

Abb. 25 "Beckenring" mit eingezeichneten 2 Gelenkdreiecken

Im Röntgenbild eines isolierten Skelettbeckens stellt sich der statisch wichtige - weil t r a g e n d e - knöcherne Beckenring im Gegensatz zu den ausladenden Darmbeinschaufeln als ein Ring mit besonderer Knochendicke und Knochendichte dar. Die 6 Gelenke des Beckens liegen alle im Bereich dieses Ringes (Abb. 25).

2.5.2. Die mit den Beckenachsen gebildeten Strukturwinkel

Die mit den Beckenachsen gebildeten Strukturwinkel des Bekkens zeigen ebenso wie die Länge der Beckenachsen im Gegensatz zu den gynäkologischen und orthopädischen Beckenmaßen keine Geschlechtsdifferenzen.

Der B K - W i n k e l beträgt im Mittel 40° bei Erwachsenen. Auffallend ist, daß er bei Kindern mit durchschnittlich 48° um 8° größer ist als bei Erwachsenen. Der BK - Winkel nimmt also mit zunehmendem Alter an Größe ab.

Der B S - W i n k e l zeigt mit 30° weder eine Abhängigkeit vom Alter noch vom Geschlecht bei einer auffallend geringen Standardabweichung. Demnach haben die Beckenachsen und die Sitzbeintangenten eine feste Beziehung zueinander.

Der BK - Winkel und der BS - Winkel bilden zusammen den von SCHOBERTH (1962) vorgestellten S K - W i n k e l . Auch er zeigt in seiner Größe zwischen 68° und 70° keine Abhängigkeit vom Geschlecht. Bei Kindern ist er um 4° bis 6° größer als bei Erwachsenen. Damit können die Untersuchungsergebnis-

se von SCHOBERTH zum Teil bestätigt werden, der eine deutliche Abnahme des SK - Winkels mit dem Alter feststellte (siehe 2.1.2.3.). Unser Untersuchungsmaterial beschränkte sich auf Altersstufen von 5 bis 40 Jahren, so daß über die Größe des SK - Winkels höherer Altersstufen keine Aussage gemacht werden kann.

Sowohl der BK - Winkel als auch der SK - Winkel nehmen also mit zunehmendem Alter an Größe ab. Zwischen beiden Winkeln besteht außerdem ein korrelativer Zusammenhang unabhängig von Alter und Geschlecht. Der Korrelationskoeffizient beträgt bei Männern r = + 0,77, bei Frauen r = + 0,75 und bei Kindern r = + 0,74. Der Zusammenhang ist gleichsinnig, indem einem größeren BK - Winkel auch ein größerer SK - Winkel entspricht und umgekehrt. Es ist anzunehmen, daß die gleichsinnige Änderung beider Winkel bedingt wird durch die Änderung der Neigung der Kreuzbeindeckplattentangente.

2.5.3. Die Krümmung des Kreuzbeines

Mit dem Kreuzbein ist die Basis der Wirbelsäule in den Beckenring einbezogen. Die straffe Bandsicherung des Kreuzbeines in den Iliosacralgelenken bedingt es, daß sich jede Stellungsänderung des Beckens im Raum auf die Stellung des Kreuzbeines auswirkt und damit zu einer Änderung der Wirbelsäulenform führt.

Als charakteristische Neuerwerbung in der Phylogenese ist die Knickbildung des Kreuzbeines gegen die Rumpfwirbelsäule, also das Promontorium anzusehen. Der Promontoriumswinkel (siehe

2.1.2.4.) ist typisch für die menschliche Wirbelsäule.

Man spricht von einem S a c r u m a c u t u m , wenn der Promontoriumswinkel kleiner wird als 130°. Es kann zu einem Sacrum acutum kommen durch vermehrte Horizontalstellung des Kreuzbeines im Verhältnis zur senkrecht verlaufenden Wirbelsäule. Eine andere Ursache für die Entstehung eines Sacrum acutum geben MÜLLER und ZWERG (1929) an. Sie hatten die Entstehung eines Sacrum acutum in einem Zeitraum von 1 1/2 Jahren beobachten können bei einer Patientin mit Wirbelgleiten. Sie erklärten die Verkleinerung des Promontoriumswinkels als Anpassung an einen pathologischen Zustand, als Heilungsprozeß. Das Kreuzbein wäre in der Lage, durch transformatorische Prozesse, insbesondere an seiner vorderen, oberen Kante, seine Formgestaltung zu variieren (Abb. 26 a).

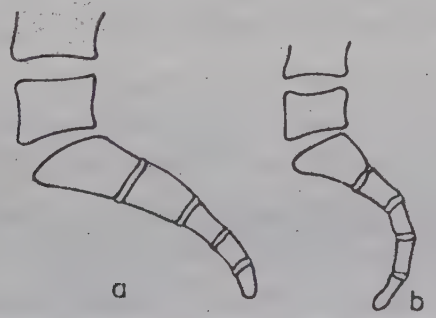

Abb. 26 a Sacrum acutum

26 b Sacrum arcuatum

(nach EXNER bei PSCHYREMBEL)

Beim S a c r u m a r c u a t u m liegt eine verstärkte Kreuzbeinkrümmung vor, wobei alle Sacralwirbelkörper beteiligt sind (Abb. 26 b). Auch das Sacrum arcuatum kann mit einem abnorm kleinen Promontoriumswinkel einhergehen, obwohl die Abhängigkeit nicht so eindeutig ist wie beim Sacrum acutum.

Die fetale Wirbelsäule läßt in den ersten Monaten die späteren Krümmungen noch ganz vermissen. Erst im 3. Embryonalmonat erscheint eine Abknickung: das Promontorium. Es wird meistens vom 2. Sacralwirbel gebildet. Der I. SWK wird erst im Laufe der weiteren Entwicklung in das Sacrum miteinbezogen. Die knöcherne Verschmelzung der einzelnen Kreuzbeinwirbel zum Kreuzbein beginnt mit der Pubertät und ist meist um das 30. Lebensjahr beendet.

Die K r e u z b e i n k r ü m m u n g fehlt beim Embryo noch ganz. Auch das kindliche Kreuzbein läßt eine Krümmung meist noch vermissen (RADLAUER zit. bei SCHOBERTH, 1962). Die Abhängigkeit der Kreuzbeinkrümmung vom Lebensalter untersuchte SCHOBERTH (1962). Er bildete wie schon RADLAUER (1908) den mittleren Sacralkrümmungsindex. Die ventrale Kontur des Kreuzbeines wurde als Kreisbogen aufgefaßt, durch dessen beide Endpunkte man eine Bogensehne zog. Das Steißbein wurde dabei nicht beachtet. Dann wurde vom höchsten Punkt der konkaven Kreuzbeinkontur das Lot gefällt. Diese größte Bogenhöhe wurde wie die vordere Sehnenlänge in cm gemessen. Das Verhältnis der beiden Strecken gab den Sacralindex an:

$$\text{Sacralindex} = \frac{\text{größte Bogenhöhe} \times 100}{\text{vordere Sehnenlänge}}$$

Ein großer Sacralindex bedeutete eine starke Kreuzbeinkrümmung, ein kleiner Sacralindex eine schwächere Kreuzbeinkrümmung. SCHOBERTH unterschied an Hand von 150 Röntgenaufnahmen je nach dem Grad der Kreuzbeinkrümmung 4 Krümmungstypen (Abb. 27, Tab. 6):

Tab. 6 Kreuzbeinkrümmungstypen nach SCHOBERTH (1962)

Kreuzbeintyp A	-	Index	bis	11,9
Kreuzbeintyp B	-	Index 12,0	bis	19,9
Kreuzbeintyp C	-	Index 20,0	bis	29,9
Kreuzbeintyp D	-	Index	über	30,0

Dabei machte SCHOBERTH die Feststellung, daß die Kreuzbeintypen A und B fast ausschließlich im 1. Lebensjahrzehnt zu finden waren. Er bezeichnete diese Typen als infantil. Zwischen dem 11. und 40. Lebensjahr hatte die Kreuzbeinkrümmung zugenommen, die Typen C und D hielten sich die Waage. Jenseits des 40. Lebensjahres gehörten bis 75 % zu den Typen C und D.

Bei unseren 20 männlichen Vpn zwischen 20 und 30 Jahren beträgt der Sacralindex etwa 22 ($\bar{x}$ = 21,7; s = 8,0; v = 36,9 %). Die große Standardabweichung von s = 8,0 zeigt jedoch, daß auch in dieser Altersklasse noch infantile Kreuzbeinformen des Types B vorkommen. Zweimal fand sich sogar ein Index unter 11,9.

BERQUET (1966) wies im Rahmen seiner Zwillingsforschungen nach, daß die Intensität der Kreuzbeinkrümmung erblich ist. Außerdem vertrat er die Ansicht, daß die Kreuzbeinkrümmung die Neigung der Kreuzbeindeckplatte bestimmen würde. Da unsere 20 Vpn im Sitzen geröntgt wurden, BERQUET in seiner Arbeit aber vom aufrechten Stand ausging, konnte diese Korrelation von uns nicht untersucht werden.

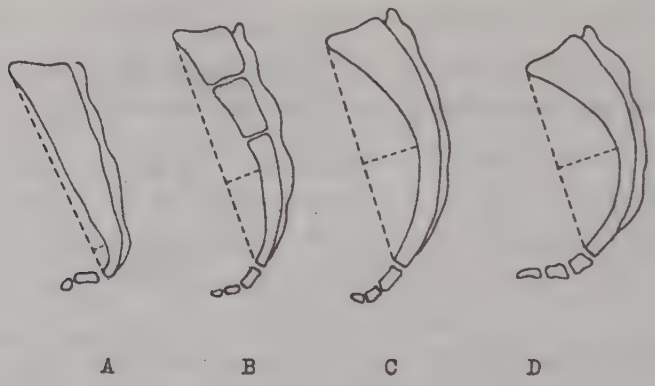

Abb. 27 Kreuzbeintypen A bis D (nach SCHOBERTH, 1962)

Der K K S - W i n k e l beträgt im Mittel rund 90°. Er zeigt bei unseren 20 Vpn eine auffallend geringe Variabilität. Zwischen dem Sacralindex und dem KKS - Winkel besteht ein gegensinniger, korrelativer Zusammenhang. Wir errechneten den Korrelationsfaktor mit r = - 0,84. Je größer der Sacralindex und damit die Kreuzbeinkrümmung ist, um so kleiner ist der KKS - Winkel. Es besteht also eine Abhängigkeit der Größe des KKS - Winkels vom Lebensalter. Da sich die Kreuzbeinkrümmung im Laufe des Lebens verstärkt, wird sich zwangsläufig der KKS - Winkel verkleinern.

Der B K S - W i n k e l beträgt im Mittel 55°. Auch er zeigt wie der KKS - Winkel relativ konstante Werte, obwohl in dem vorliegenden Untersuchungsgut die Kreuzbeinkrümmungstypen A, B und C vertreten sind. Es besteht keine Korrelation zwischen dem BKS - Winkel und dem Sacralindex.

Bei gleichbleibender Länge des Kreuzbeines - also gleichbleibender Bogenlänge - würde eine Zunahme der Bogenhöhe h einer Abnahme der Länge l der Kreuzbeinkrümmungssehne entsprechen. Diese Korrelation konnte aber nicht bestätigt werden (r = - 0,37). Es läßt sich daraus folgern, daß sich Bogenhöhe und Sehnenlänge unabhängig voneinander verändern können. Die Bogenhöhe zeigt mit v = 33 % eine weitaus größere Variabilität als die Sehnenlänge mit v = 8 %. Der Sacralindex nimmt damit vorwiegend auf Grund einer größeren Bogenhöhe zu.

2.5.4. Die an der Aufrichtung des Menschen beteiligten Elemente

Die Aufrichtung des Menschen im Verlauf der Phylogenese erfolgte nicht als reine Dorsalrotation des Beckens um 90° um die quere Hüftgelenkachse. Einen wesentlichen Anteil an der Aufrichtung hat der lumbosacrale Übergangsbereich.

Der Winkel der Keilform des LWK V und der LBS V beträgt je 10°, der des SWK I beträgt 15°. Diese Werte sind unabhängig von Alter und Geschlecht. Die mit 50 % bis 60 % weitaus größere Variabilität der Keilform der Bandscheibe gegenüber der der Wirbelkörper mit im Mittel 35 % erklärt sich durch die

Formänderung der V. LBS bei Stellungsänderungen.

Die Summe der die Keilform im Lumbosacralbereich messenden Winkel beträgt $10^{\circ} + 10^{\circ} + 15^{\circ}$. Somit ergibt sich für diesen Bereich ein Anteil an der Aufrichtung von 35°. Die Dorsalrotation des Beckens um die quere Hüftgelenkachse ist gleich der Differenz von 35° zu 90°, also nur 55°.

Die übrigen LWK sind an der Aufrichtung des Menschen nicht mehr wesentlich beteiligt. Ausdruck der vollzogenen Aufrichtung ist diejenige Wirbelkörperdeckplatte, die beim aufrechten Stand des Menschen horizontal steht. Bei unseren 100 erwachsenen Vpn ist dies zu 11 % die Deckplatte des LWK V, zu 64 % die des LWK IV und zu 25 % die des LWK III. Somit hat die Wirbelsäule ihre Aufgabe bei der Aufrichtung des Menschen im allgemeinen bereits mit der Horizontalstellung der Deckplatte des LWK IV (LWK III) erfüllt.

2.6. Das Becken in der Bewegung

Das Becken nimmt im aufrechten Stand eine Mittelstellung ein, von der aus eine Ventral- oder Dorsalrotation erfolgen kann. Der Begriff "B e c k e n r o t a t i o n" soll die Begriffe "Aufrichtung" und "Kippung" ersetzen, die in der Literatur von den Autoren für verschiedene, zum Teil gegensätzliche Bewegungen des Beckens angewendet werden (GROH, 1970; Tab. 7). Fast alle Autoren richten sich in der Benennung der Beckenbewegung nach der Stellung der Conjugata anatomica bzw. der Kreuzbeindeckplattentangente. Ein steilgestelltes Becken

entspricht einem großen Beckenneigungswinkel, d.h. einer steilgestellten Conjugata anatomica. Ein flachgestelltes Bekken entspricht einem kleinen Beckenneigungswinkel, d.h. einer flachgestellten Conjugata anatomica. Schon hier beginnen die Widersprüche. Bei einem steilgestellten Becken nämlich nähert sich die Kreuzbeinlängsachse der Horizontalen, sie ist also flachgestellt. Bei einem flachgestellten Becken nähert sich die Kreuzbeinlängsachse der Vertikalen, sie ist also steilge-

Tab. 7 Beckenrotation um die quere Hüftgelenkachse

Ventralrotation	Dorsalrotation
Drehung der Beckenachse nach ventral	Drehung der Beckenachse nach dorsal
Verkleinerung des Beckenachsenwinkels	Vergrößerung des Beckenachsenwinkels
Beckenaufrichtung	Beckenkippung
Aufrichtung der Beckeneingangsebene	Kippung der Beckeneingangsebene
Horizontalstellung der Kreuzbeinlängsachse	Vertikalstellung der Kreuzbeinlängsachse
Vergrößerung des Beckenneigungswinkels	Verkleinerung des Beckenneigungswinkels
Steilstellung des Beckens	Flachstellung des Beckens
Steilstellung der Conjugata anatomica	Flachstellung der Conjugata anatomica

stellt. Überwiegend wird von Beckenaufrichtung gesprochen, wenn die Conjugata anatomica sich steilstellt, der Beckenneigungswinkel also größer wird und das Kreuzbein horizontal steht. Unter Beckenkippung verstehen die meisten Autoren diejenige Bewegung des Beckens, die zu einer Flachstellung führt, wobei der Beckenneigungswinkel kleiner und das Kreuzbein steilgestellt wird.

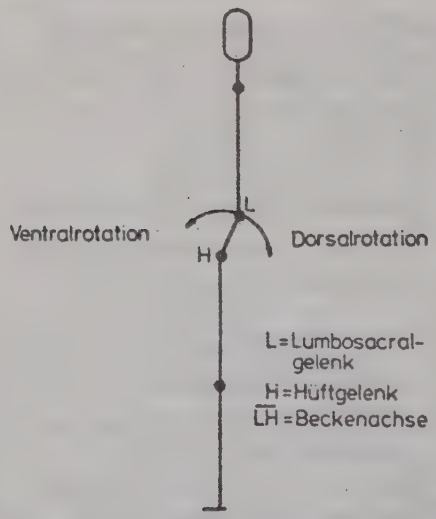

Abb. 28 Beckenrotation

Es empfiehlt sich, zur Vermeidung dieser Gegensätzlichkeiten statt von Beckenkippung oder -aufrichtung nur von B e k k e n r o t a t i o n zu sprechen (Abb. 29). Die Beckenrotation und damit die Rotation der Beckenachse vollzieht sich als Bewegung des Beckens um die quere Hüftgelenkachse. Die Drehung des Beckens nach ventral wird als Ventralrotation und die Drehung des Beckens nach dorsal als Dorsalrotation bezeichnet.

Seit v. MEYER (1863) wird das Becken mit einem Winkelhebel verglichen, dessen Drehachse die quere Hüftgelenkachse darstellt.

Befindet sich der Körperschwerpunkt (KSP) ü b e r der queren Hüftgelenkachse, liegt kein Drehmoment vor. Verläuft die Schwerelinie, also das Lot aus dem Körperschwerpunkt, vor oder hinter der queren Hüftgelenkachse, dann besitzt der Körperschwerpunkt in bezug auf die quere Hüftgelenkachse ein Drehmoment, das in Ruhe durch ein entgegengesetztes, gleichgroßes Drehmoment aufgehoben werden muß.

Verläuft die Schwerelinie v e n t r a l von der queren Hüftgelenkachse, wird eine Ventralrotation des Beckens erzeugt. Diese kann verhindert werden durch die dorsal rotierende Kraft des M. gluteus maximus und die Muskeln der ventralen Bauchwand, aber auch durch die hinteren Anteile der Ab- und Adduktoren sowie durch die ischiocrurale Muskulatur. Eine passive Haltevorrichtung zur Vermeidung einer Ventralrotation gibt es nicht.

Verläuft die Schwerelinie d o r s a l von der queren Hüftgelenkachse, entsteht ein Drehmoment im Sinne einer Dorsalrotation. Hier können sowohl aktive als auch passive Hemmungsmechanismen wirksam werden, um der Schwerkraft entgegenzuwirken. Aktiv wird die Dorsalrotation vor allem verhindert durch die Mm. iliopsoas, tensor fasciae latae und sartorius, unterstützt durch den am oberen Darmbeinkamm angreifenden M. erector spinae und die vorderen Anteile der Ab- und Adduktoren.

Die breiten Faserzüge des Ligamentum iliofemorale können passiv eine größere Dorsalrotation des Beckens und damit eine Überstreckung der Hüftgelenke bremsen und schließlich unmöglich machen. Dieser passive Mechanismus wird aber nur bei einer Endhaltung in Dorsalrotation in Anspruch genommen.

3. Das Becken im Stehen

Eine Haltung ist eine Körperstellung, die gehalten wird. "Halten" heißt Bewegung verhindern. Verhindert werden sollen diejenigen Bewegungen, die durch die Schwerkraft erzeugt werden, also alle Fallbewegungen. Charakteristisch für jede Haltung ist somit der Gleichgewichtszustand zwischen der Schwerkraft und den eigenen Haltekräften (SCHEDE, 1961). Werden p a s s i v e Haltevorrichtungen wie Bänder, Knochen oder der Tonus der ruhenden Muskulatur in Anspruch genommen, besteht eine Ruhehaltung. A k t i v e Haltevorrichtungen sind durch die arbeitenden Muskeln gegeben. Zwischen der durch die passiven Haltevorrichtungen gesicherten Ruhehaltung und der durch aktive Muskelleistung bewirkten maximalen Aufrichtung sind alle Übergänge möglich. Jede Haltung wird somit bestimmt durch die beiden Grundkräfte: die verformende Schwerkraft und die aufrichtende Muskelkraft.

Der Angriffspunkt der Schwerkraft ist der Schwerpunkt. Die Verbindungslinie des Schwerpunktes mit dem Erdmittelpunkt ist die Schwerelinie. Ein Körper ist darum im s t a b i l e n Gleichgewicht, wenn die Schwerelinie seine Unterstützungsfläche schneidet. Somit ist die Kenntnis der Lage des Körperschwerpunktes bzw. der Verlauf der Schwerelinie von größter Bedeutung für die Ermittlung der Standfestigkeit. Wandert die Schwerelinie an die Grenze der Unterstützungsfläche, so kommt der Körper in eine l a b i l e Gleichgewichtslage. Das Gleichgewicht ist um so stabiler, je größer die Unterstüt-

zungsfläche und je kleiner die Entfernung des Körperschwerpunktes von dieser Unterstützungsfläche ist.

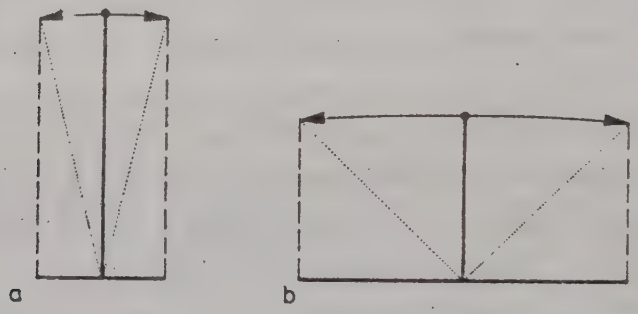

Abb. 29 Körperschwerpunkt und Unterstützungsfläche
a = im Stehen; b = im Sitzen

Das Gleichgewicht im aufrechten Stehen ist gegenüber dem im Sitzen labiler, da der Körperschwerpunkt von der Unterstützungsfläche weiter entfernt ist und diese kleiner ist als beim Sitzen (Abb. 29). Zusätzliche Muskelarbeit ist erforderlich, um den Körper im aufrechten Stehen über längere Zeit im Gleichgewicht zu halten.

3.1. Definition der Beckenstellung

Im Gegensatz zu den Strukturlinien und Strukturwinkeln des Beckens (vgl. 2.1.), die lediglich Auskunft geben über die Beckenform, wird die Beckenstellung im Raum definiert durch Stellungslinien und Stellungswinkel, die eine Abhängigkeit zum Raum zeigen.

3.1.1. Definition der Beckenstellung im Schrifttum

3.1.1.1. Vorderdistanz a, Oberdistanz b, Promontoriumsdistanz c des Hüftgelenkes (Abb. 30)

Die Vorderdistanz, die Oberdistanz und die Promontoriumsdistanz sind Stellungslinien des Beckens, da sie in ihrer Größe abhängig sind von der Beckenstellung im Raum.

Die V o r d e r d i s t a n z a (LEGER, 1959) des Hüftgelenkes ist der horizontale Abstand zwischen der queren Hüftgelenkachse und dem Lot in dem am weitesten ventral prominierenden Punkt der Symphyse. Sie ist im aufrechten Stand im Mittel 6 cm lang und beträgt im Durchschnitt 35 % der Beckentiefe (Frauen 31 - 41 %, Männer 30 - 42 %). Die quere Hüftgelenkachse verläuft also nicht durch den Mittelpunkt des Beckenringes, sondern ventral davon.

Als O b e r d i s t a n z b (LEGER, 1959) wird der senkrechte Abstand zwischen einer durch die quere Hüftgelenkachse gelegten waagerechten Ebene und dem Promontorium bezeichnet. Sie ist im aufrechten Stand im Mittel 9 cm lang und beträgt bei Männern und Frauen durchschnittlich 55 % der Beckenhöhe, bei Extremwerten von 47 % und 63 %.

Die P r o m o n t o r i u m s d i s t a n z c (LEGER, 1959) ist der horizontale Abstand zwischen der queren Hüftgelenkachse und dem Lot aus dem Promontorium. Sie beträgt bei Männern im Mittel + 1,8 cm und bei Frauen im Mittel + 0,8 cm,

wobei Extremwerte von + 4,6 cm bis - 2,2 cm angegeben werden. Diese starken Schwankungen beruhen auf verschieden starker Rotation des Beckens um die quere Hüftgelenkachse. Man spricht von positiver Promontoriumsdistanz (+), wenn das Promontorium dorsal von der queren Hüftgelenkachse liegt, und von negativer Promontoriumsdistanz (-), wenn es ventral von dieser liegt. Das Promontorium liegt bei Frauen im Durchschnitt 1 cm weiter dorsal von der queren Hüftgelenkachse als bei Männern.

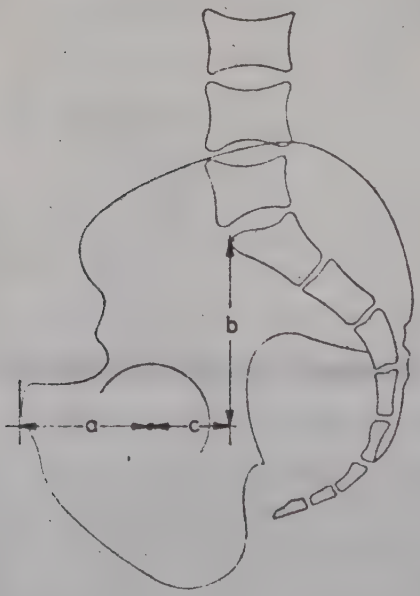

Abb. 30 Vorderdistanz (a), Oberdistanz (b), Promontoriumsdistanz (c)

3.1.1.2. Beckenneigungswinkel (Abb. 31)

Als B e c k e n n e i g u n g s w i n k e l wird der Winkel definiert, den die Conjugata anatomica mit der Horizonta-

len bildet. Dieser Winkel beträgt bei Männern im Durchschnitt 58° mit Extremwerten von 44° und 73°. Bei Frauen beträgt er im Durchschnitt 57° mit Extremwerten von 40° und 75° (LEGER, 1959). Alle Winkelangaben, die vor LEGER gemacht wurden, haben nur noch historische Bedeutung, da nur Röntgenaufnahmen des stehenden Menschen einen zuverlässigen Einblick in die Neigungsverhältnisse des Beckens gestatten. Messungen von außen oder an der Leiche führen zu beträchtlichen Ungenauigkeiten.

Der Beckenneigungswinkel zeigt eine große Streuung. Er gibt lediglich Auskunft über die Neigung der Beckeneingangsebene.

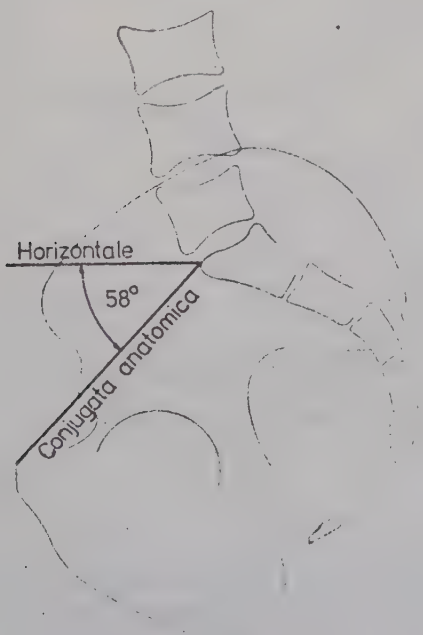

Abb. 31 Beckenneigungswinkel

3.1.1.3. Hüftbeinneigungslinie (Abb. 32)

Die H ü f t b e i n n e i g u n g s l i n i e (FICK, 1910) ist die Verbindungslinie zwischen dem oberen Schamfugenrand und dem hinteren, oberen Darmbeinstachel. Ihre Neigung gegen die Horizontale wird als Hüftbeinneigung bezeichnet.

Heute hat die Hüftbeinneigungslinie keine Bedeutung mehr, da man mit Hilfe von Röntgenaufnahmen die Beckenstellung besser beurteilen kann.

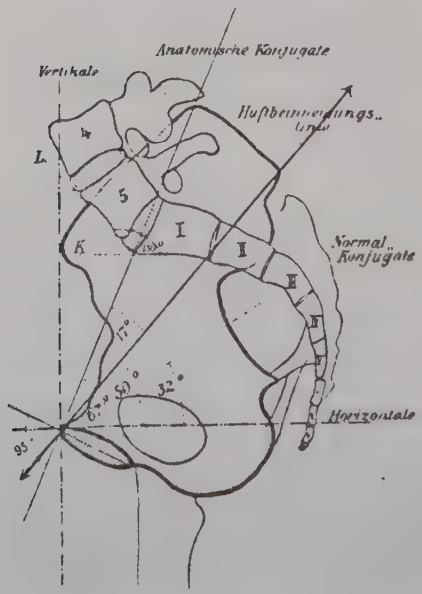

Abb. 32 Hüftbeinneigungslinie (FICK, 1910)

3.1.1.4. Horizontalneigung (Abb. 33)

Die H o r i z o n t a l n e i g u n g (SCHOBERTH, 1962) kennzeichnet den Winkel, den die Sitzbeintangente ventral mit

der Raumhorizontalen bildet. Die Raumhorizontale wird durch den Schnittpunkt von Sitzbeintangente und Kreuzbeindeckplattentangente gelegt. Die Horizontalneigung beträgt im Mittel 105°. Sie ist ein willkürlich gewähltes Maß für die momentane Stellung des Beckens im Raum. Der Vorteil dieser Winkelbestimmung liegt in der Möglichkeit der leichten und schnellen Darstellung der Sitzbeintangente. Der Nachteil besteht darin, daß damit keine Aussage gemacht werden kann über die Statik des Beckens.

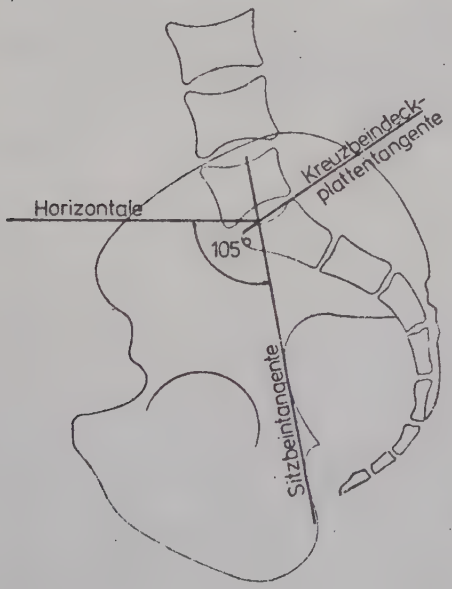

Abb. 33 Horizontalneigung (SCHOBERTH, 1962)

3.1.1.5. Kreuzbeinneigungswinkel (Abb. 34)

Als K r e u z b e i n n e i g u n g s w i n k e l wird der Winkel bezeichnet, den die Tangente an die Kreuzbeindeckplatte

mit der Raumhorizontalen bildet. Dieser Winkel hat verschiedene Namen erhalten. PICK (1910) nennt ihn K r e u z b e i n n e i g u n g s w i n k e l oder S t e l l u n g s w i n k e l , MÜLLER und ZWERG (1930) sprechen von der W i r b e l f l ä c h e n n e i g u n g , LEGER (1959) nennt ihn K r e u z b e i n b a s i s w i n k e l und SCHOBERTH (1962) K r e u z b e i n d e c k p l a t t e n n e i g u n g.

Der Kreuzbeinneigungswinkel beträgt im Mittel 35° (LEGER, 1959). Die Neigung der Kreuzbeindeckplatte wird nicht nur von der Stellung des Kreuzbeines bestimmt, sondern auch von der Krümmung des Kreuzbeines. Sie hat für die Statik des Beckens und für die der Wirbelsäule eine große Bedeutung.

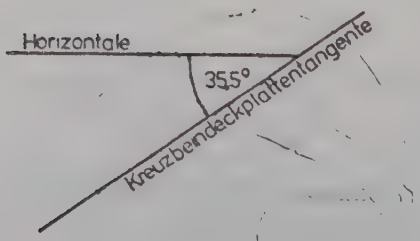

Abb. 34 Kreuzbeinneigungswinkel

3.1.2. Definition der Beckenstellung aus biomechanischer Sicht

Ebenso wenig wie über die Form des Beckens liegen bisher über die Stellung des Beckens im Raum Ergebnisse aus biomechanischen Untersuchungen vor. Innerhalb der Aufzählung der Stellungslinien und Stellungswinkel sollen nun noch die von uns definierten und ermittelten genannt werden.

3.1.2.1. Horizontale Gelenkdistanz d (Abb. 35)

Die h o r i z o n t a l e G e l e n k d i s t a n z d (GROH, 1970) ist die horizontale Entfernung der queren Hüftgelenkachse von dem Lot aus dem Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes.

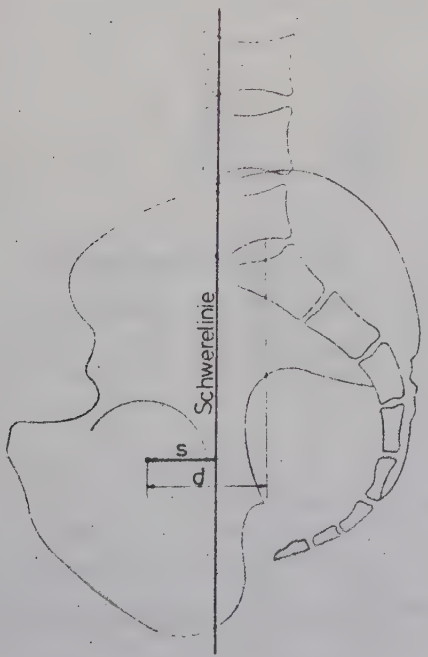

Abb. 35 Horizontale Gelenkdistanz d, horizontale Schwereliniendistanz s

3.1.2.2. Horizontale Schwereliniendistanz s (Abb. 35)

Die h o r i z o n t a l e S c h w e r e l i n i e n - d i s t a n z s definierten wir als den horizontalen Abstand der queren Hüftgelenkachse von der Schwerelinie.

3.1.2.3. Beckenachsenwinkel δ (Abb. 36)

Der B e c k e n a c h s e n w i n k e l δ (GROH, 1970) ist der nach distal offene Winkel zwischen der Beckenachse und der Raumsenkrechten.

Abb. 36 Beckenachsenwinkel δ, horizontale Gelenkdistanz d

3.1.2.4. Kreuzbeindeckplattenwinkel α (Abb. 37)

Den K r e u z b e i n d e c k p l a t t e n w i n k e l α definierten wir als den nach ventral und distal offenen Win-

kel, den die Kreuzbeindeckplattentangente mit der Raumsenkrechten bildet.

3.1.2.5. Sitzbeintangentenwinkel β (Abb. 37)

Den S i t z b e i n t a n g e n t e n w i n k e l β definierten wir als den nach dorsal und distal offenen Winkel, den die Sitzbeintangente mit der Raumsenkrechten bildet.

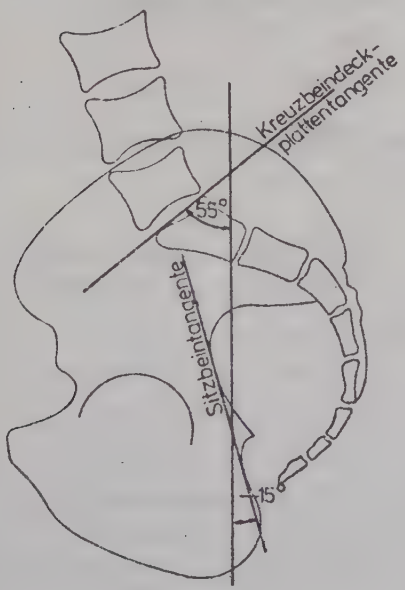

Abb. 37 Kreuzbeindeckplattenwinkel $\alpha = 55^{\circ}$, Sitzbeintangentenwinkel $\beta = 15^{\circ}$

3.2. Untersuchungsmaterial und Untersuchungsmethode

Zur Untersuchung der Stellung des Beckens im Raum verwendeten wir die Röntgenpausen mit den eingezeichneten Hilfslinien der 250 Röntgenbilder von Professor LEGER, die wir für die Unter-

suchung der Form des Beckens bereits angefertigt hatten (vgl. 2.2. und 2.3.).

3.3. Untersuchungsergebnis

3.3.1. Horizontale Gelenkdistanz d, horizontale Schwerelinien-distanz s im Stehen (Tab. 8)

Die h o r i z o n t a l e G e l e n k d i s t a n z d beträgt im aufrechten Stand bei Erwachsenen im Mittel 2,5 bis 3,0 cm und bei Kindern im Mittel 1 cm.

Tab. 8 Horizontale Gelenkdistanz d und horizontale Schwere-liniendistanz s bei 112 Vpn

Distanz	Geschlecht	Mittelwert (cm)	Standardab-weichung (cm)	Variabilitäts-koeffizient (%)
d	männl.	2,5	1,4	56,7
	weibl.	3,0	1,7	55,2
	kindl.	1,1	0,9	80,1
s	männl.	1,7	1,9	110,0
	weibl.	1,7	1,6	94,0
	kindl.	1,3	1,1	88,7

Die h o r i z o n t a l e S c h w e r e l i n i e n d i s t a n z s ist im Mittel 1,7 cm lang bei Erwachsenen und 1,3 cm bei Kindern. Der Variabilitätskoeffizient ist mit maximal 110 % außerordentlich groß.

3.3.2. Beckenachsenwinkel δ im Stehen (Tab. 9)

Der Beckenachsenwinkel δ beträgt im Mittel bei Erwachsenen 15° und bei Kindern 7°. Seine Variabilität ist relativ groß. Überwiegend ist er nach ventral und distal offen, manchmal jedoch auch nach dorsal und distal. Im ersteren Fall bezeichnen wir ihn als positiv, im letzteren als negativ.

Tab. 9 Beckenachsenwinkel δ, Kreuzbeindeckplattenwinkel α, Sitzbeintangentenwinkel β bei 112 Vpn

Winkel	Geschlecht	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
δ	männl.	12,7	7,7	60,8
	weibl.	15,6	8,7	56,0
	kindl.	6,7	5,5	81,9
α	männl.	52,0	9,0	17,5
	weibl.	56,0	9,0	16,0
	kindl.	54,0	9,0	16,6
β	männl.	15,5	5,5	38,8
	weibl.	15,0	6,5	43,3
	kindl.	19,8	8,0	40,0

3.3.3. Kreuzbeindeckplattenwinkel α, Sitzbeintangentenwinkel β (Tab. 9)

Der K r e u z b e i n d e c k p l a t t e n w i n k e l α beträgt im Mittel 55°. Es besteht kein wesentlicher Geschlechts- oder Altersunterschied.

Der S i t z b e i n t a n g e n t e n w i n k e l β beträgt im Mittel bei Erwachsenen 15° ohne Geschlechtsunterschied und bei Kindern 20°. Dieser Winkel ist in der Mehrzahl der Fälle nach dorsal und distal offen, wobei er von uns als positiv bezeichnet wird; in manchen Fällen ist er negativ, d.h. nach ventral und distal offen.

3.4. Diskussion

3.4.1. Die Beschreibung der Stellung des Beckens im Raum an Hand der biomechanischen Beckenmaße

Um die Stellung des Beckens im Raum zu definieren, sind im Schrifttum verschiedene Beckenlinien genannt und ihre Winkel mit der Raumhorizontalen bzw. der Raumsenkrechten gemessen worden (vgl. 3.1.1.). Da die quere Hüftgelenkachse als Drehachse wirkt, läßt sich sowohl die Stellung des Beckens im Raum als auch die Rotation des Beckens am besten mit dem Winkel definieren, den die Beckenachse mit der Raumsenkrechten bildet. Diesen Stellungswinkel der Beckenachse definierten wir als den B e c k e n a c h s e n w i n k e l δ. Es empfiehlt sich, für alle Winkelmessungen am Becken die Raumsenkrechte als Bezugslinie zu wählen. Auf diese Weise nämlich dokumentieren solche Winkel am eindeutigsten die Abweichung der Beckenlinien von der Schwerelinie.

Jede Größenänderung des Beckenachsenwinkels gibt eine Bewegung des Beckens an. Das Kleinerwerden des Beckenachsenwinkels bedeutet eine Ventralrotation des Beckens um die quere

Hüftgelenkachse als Drehachse, umgekehrt bedeutet das Größerwerden eine Dorsalrotation.

Der Beckenachsenwinkel beträgt bei unseren 100 erwachsenen Vpn rund 15° und bei unseren 12 kindlichen Vpn rund 7° (Tab. 9). Somit weist also das Becken bei Kindern im Stehen eine größere Ventralrotation auf als bei Erwachsenen.

Ebenso wie der Beckenachsenwinkel ist die h o r i z o n t a l e G e l e n k d i s t a n z d ein Maß für die Rotationsstellung des Beckens im Raum. Zwischen dem Beckenachsenwinkel δ und der horizontalen Gelenkdistanz d besteht eine funktionale Abhängigkeit im Sinne einer Sinusfunktion (Abb. 36). Die horizontale Gelenkdistanz d im aufrechten Stand ist bei unseren 12 kindlichen Vpn mit durchschnittlich 1 cm rund 2 cm kleiner als bei unseren 100 erwachsenen Vpn, für die durchschnittlich 2,5 - 3,0 cm ermittelt wurden. Diese Differenz stimmt überein mit der Feststellung, daß bei Kindern im Stehen eine größere Ventralrotation des Beckens besteht als bei Erwachsenen.

Für den K r e u z b e i n d e c k p l a t t e n w i n k e l α haben wir ebenso wie für den Beckenachsenwinkel als Bezugslinie die Raumsenkrechte gewählt. Der Kreuzbeindeckplattenwinkel ist der Komplementärwinkel zum Kreuzbeinneigungswinkel, da beide zusammen stets 90° (Winkel zwischen der Raumhorizontalen und der Raumsenkrechten) messen. Für den Kreuzbeindeckplattenwinkel ermittelten wir bei unseren 112 Vpn einen Wert von rund 55°. LEGER (1959) ermittelte an Hand derselben Rönt-

genbilder einen Kreuzbeinneigungswinkel von 35°. Beide zusammen bilden erwartungsgemäß einen rechten Winkel. Der Kreuzbeindeckplattenwinkel zeigt keine Korrelation mit dem Beckenachsenwinkel, wie der Korrelationskoeffizient von r = 0,4 beweist. Er ist demnach weitgehend unabhängig von der Beckenrotation, die durch den Beckenachsenwinkel ausgedrückt wird.

Der Mensch ist bemüht, seine Kreuzbeindeckplatte so einzustellen, daß sie mit der Raumsenkrechten den für die Statik der Haltung günstigsten Winkel bildet. Die Kreuzbeindeckplatte ist mit ihrer Neigung Mittlerin zwischen Wirbelsäule und Becken (LEGER, 1959). LEGER überprüfte die Beziehung des Kreuzbeindeckplattenwinkels zur Wirbelsäule. Dabei ergab sich eine Korrelation insoweit, als kleinere Kreuzbeinbasiswinkel mit einer geringeren Lordose einhergingen als überdurchschnittlich große Winkel und umgekehrt. LEGERs Überlegungen über die optimale Form der Wirbelsäule gingen dahin, daß die physiologischen Krümmungen der Wirbelsäule möglichst nur so stark sein sollten, daß die Schwerelinie an der Konkavseite der Schwingungen aus der Wirbelkörperreihe heraustritt. In der Variation der Kreuzbeindeckplattenstellung habe der Mensch die Möglichkeit, die Form der Wirbelsäule (Lordose - Kyphose) so zu bestimmen, daß sie diesen Bedingungen entsprechen könne. Wir haben diese Korrelation nicht untersucht, da wir an den 112 Röntgenbildern von LEGER lediglich die Form und die Stellung des Beckens im Raum studierten ohne Berücksichtigung der Wirbelsäulenform.

Menschen mit einem großen Kreuzbeindeckplattenwinkel, gemessen im aufrechten Stehen, haben auch einen großen SK - Winkel. Umgekehrt haben Menschen mit einem kleinen Kreuzbeindeckplattenwinkel auch einen kleinen SK - Winkel. Diese Abhängigkeit konnten wir mit einem Korrelationskoeffizienten von r = 0,85 bei Männern und r = 0,75 bei Frauen (100 Vpn) eindeutig nachweisen. Die Stellung der Kreuzbeindeckplatte wird also vom SK - Winkel beeinflußt. SCHOBERTH (1962) hatte die Beobachtung gemacht, daß man allein auf Grund des SK - Winkels die Wirbelsäulenform, zumindest im Lendenbereich, voraussagen konnte. Die Erklärung ist in der am vorliegenden Material statistisch gesicherten Korrelation zwischen dem SK-Winkel und der Kreuzbeindeckplattenstellung im Raum zu suchen, denn letztere bestimmt die Wirbelsäulenform. Ebenso wie der SK - Winkel beeinflußt auch der BK - Winkel die Stellung der Kreuzbeindeckplatte im Raum. Allerdings konnte eine eindeutige Korrelation mit r = 0,74 bzw. r = 0,82 nur bei Männern und Kindern festgestellt werden. Warum bei Frauen diese Korrelation nicht vorliegt, konnte nicht geklärt werden.

Den S i t z b e i n t a n g e n t e n w i n k e l β definierten wir als den Winkel zwischen der Sitzbeintangente und der Raumsenkrechten. SCHOBERTH (1962) dagegen bestimmte mit der Horizontalneigung den Winkel zwischen der Sitzbeintangente und der Horizontalen. Der Sitzbeintangentenwinkel beträgt im Stehen bei 100 erwachsenen Vpn rund 15° und bei 12 Kindern rund 20°. Dieser Altersunterschied ist Ausdruck der größeren Ventralrotation des Beckens bei Kindern im Ste-

hen. SCHOBERTH ermittelte eine Horizontalneigung von rund 105° bei Erwachsenen. Die Rotationsstellung des Beckens im Raum stimmt damit bei beiden Untersuchungen überein (90° + 15° = 105°).

Den Verlauf der Schwerelinie kennzeichneten wir durch die h o r i z o n t a l e S c h w e r e l i n i e n d i s t a n z s . Sie zeigt eine außerordentlich große Variabilität. Ihre Länge beträgt rund 1,5 cm, ihre Extremwerte liegen für 112 Vpn jedoch bei + 4 cm und - 4 cm. Bei den 100 untersuchten erwachsenen Vpn verläuft die Schwerelinie in nur 13 Fällen ventral von der queren Hüftgelenkachse (13 % negativ). Bei der Mehrheit der Fälle dagegen verläuft die Schwerelinie dorsal von der queren Hüftgelenkachse (87 % positiv). Unter den 100 Vpn verläuft bei 59 Vpn (59 %) die Schwerelinie innerhalb der horizontalen Gelenkdistanz und bei den übrigen 28 Vpn (28 %) sogar dorsal vom Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes.

Um die Frage zu überprüfen, ob die Schwerelinie bei der Ruhehaltung im Stehen deshalb dorsal von der queren Hüftgelenkachse verläuft, damit die passiven Haltemechanismen zum Tragen kommen, hatte LEGER (1959) bei 4 Vpn nach einer Röntgenaufnahme in Ruhehaltung eine zweite anfertigen lassen, bei der von den Vpn eine Haltung mit maximaler Dorsalrotation des Beckens eingenommen wurde. Dabei stellte sich heraus, daß das Becken von der Ruhehaltung aus noch eine weitere Rückdrehung um 8° - 14° durchführen konnte. Das Becken wird also in der normalen Gewohnheitshaltung keineswegs rein passiv durch das Lig. ilio-femorale gehalten. Vielmehr ist auch hier eine Akti-

vität der Hüftgelenkbeuger als Ventralrotatoren des Beckens erforderlich.

Nun stellt sich die Frage, ob im Stehen der Verlauf der Schwerelinie abhängig sei von der Beckenstellung oder ob umgekehrt die Lage des Körperschwerpunktes die Beckenstellung bestimme. Bei der Errechnung des Korrelationskoeffizienten r zwischen dem Beckenachsenwinkel δ und der Strecke s ergab sich entgegen der Aussage von LEGER (1959), der dieselben Röntgenbilder auswertete, daß keine Korrelation zwischen der Beckenstellung und dem Verlauf der Schwerlinie besteht (r = 0,5 bei 112 Vpn). Ein ventral rotiertes Becken kann die gleiche Distanz der Schwerelinie zur queren Hüftgelenkachse aufweisen wie ein dorsal rotiertes. Die Erklärung dafür ist darin zu sehen, daß die Wirbelsäule bei einem ventral rotierten Becken durch verstärkte Lendenlordose ebenso ein stabiles Gleichgewicht zu erhalten sucht wie durch Abschwächung der Lordose oder sogar durch Bildung einer Lendenkyphose bei dorsal rotiertem Becken. Die Abhängigkeit der Wirbelsäulenform von der Beckenstellung wurde von LEGER (1959) negiert. Er orientierte sich in seiner Untersuchung an der Conjugata anatomica, welche mit ihrer Beckenneigung keine Aussage macht über die Beckenstellung im Raum, sondern lediglich die Neigung der Beckeneingangsebene anzeigt.

3.4.2. Konstruktion des "normalen" Beckens (Abb. 38)

An Hand der Struktur- und Stellungswinkel und der Struktur- und Stellungslinien des Beckens wurde versucht, ein "norma-

les" Becken des aufrecht stehenden Menschen in Ruhehaltung zu konstruieren. Zu diesem Zweck wurden die Mittelwerte folgender Beckenmaße zusammengestellt:

- Beckenachsenwinkel..... 15°
- Kreuzbeindeckplattenwinkel..... 55°
- Sitzbeintangentenwinkel..... 15°
- Beckenneigungswinkel..... 55°
- KKS - Winkel..... 90°
- Keilform der LBS V..... 10°
- Keilform des LWK V..... 10°
- Keilform des SWK I..... 15°
- Länge der Beckenachse..... 12 cm
- Horizontale Gelenkdistanz..... 3 cm
- Horizontale Schwereliniendistanz..... 1,5 cm

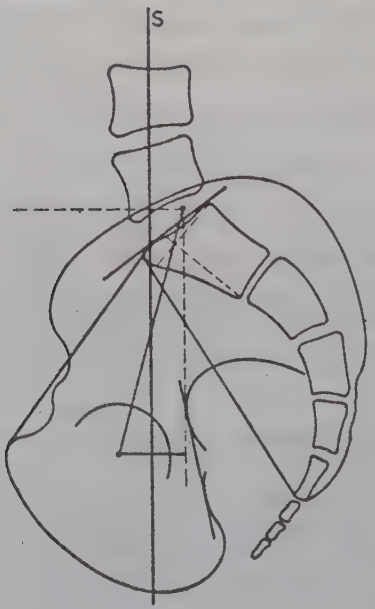

Abb. 38 Das "normale" Becken

Ausgangspunkt der Zeichnung war die horizontal stehende Deckplatte des IV. Lendenwirbelkörpers. Die Konturen von Darm-, Sitz- und Schambein wurden nachträglich hinzugefügt. Abb. 38 zeigt das "normale" Becken eines aufrecht stehenden Menschen.

Die Schwerelinie verläuft im Mittel 1,5 cm dorsal von der queren Hüftgelenkachse und 1,5 cm ventral vom Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes. Folglich trifft sie beim "normalen" Becken die horizontale Gelenkdistanz in ihrer Mitte. Die Schwerkraft übt also sowohl auf die quere Hüftgelenkachse als auch auf das Lumbosacralgelenk ein Drehmoment von gleicher Größe, aber in entgegengesetzter Richtung aus.

Bei der zeichnerischen Darstellung eines Beckens an Hand von Mittelwerten darf nicht vergessen werden, daß diese Mittelwerte eine zum Teil recht beträchtliche Streuung aufweisen. Auch ist ein Untersuchungsgut von insgesamt 112 Versuchspersonen nicht umfangreich genug, um eine endgültige Aussage über die Form des "normalen" Beckens und seine Stellung im Raum machen zu können.

4. Das Becken im Sitzen

4.1. Definition der Sitzhaltungen

4.1.1. Die Sitzhaltungen im Schrifttum

Erste grundlegende Untersuchungen über die Sitzhaltungen wurden von H. v. MEYER (1867) durchgeführt. Er bezeichnet das horizontale Brett als Urtyp des Sitzes, auf dem die beiden Tubera ossis ischii wie die Kufen eines Schlittens entlanggleiten können. Die quere Verbindung der jeweils aufliegenden Punkte der Tubera nennt er die Unterstützungslinie des Rumpfes. Um ein ruhiges Sitzen zu ermöglichen, ist der Körper bemüht, aus der Unterstützungslinie eine Unterstützungsfläche zu machen. Je nach Lage der Unterstützungsfläche zur Tuberlinie unterscheidet H. v. MEYER eine vordere und eine hintere Sitzlage. Bei der vorderen Sitzlage liegt die Unterstützungsfläche als Berührungsfläche der Oberschenkel mit der Sitzunterlage vor der Unterstützungslinie. Der Körperschwerpunkt (KSP) hat über der Unterstützungsfläche einen relativ großen Bewegungsraum. Bei der hinteren Sitzlage bildet das Kreuzbein einen 3. Unterstützungspunkt, die Unterstützungsfläche liegt hinter der Unterstützungslinie. Der Bewegungsraum des KSP ist relativ kleiner. Es droht ein Rückwärtsfallen des Rumpfes, wenn dieser nicht durch eine Lehne abgestützt werden kann. Falls die Möglichkeit des Anlehnens nicht gegeben ist, wird eine ruhige Sitzhaltung nur dann erreicht, wenn die Hüftgelenke durch Überkreuzen der Beine fixiert werden.

STAFFEL (zit. bei FICK, 1910) unterscheidet im wesentlichen 2 Sitzhaltungen, die nach der Art der Wirbelsäulenkrümmung als Sitzhaltung mit "rundem" Rücken und als solche mit "flachem" Rücken bezeichnet werden.

STRASSER (1913) teilt die Sitzhaltungen ebenfalls nach den Unterstützungsflächen des Rumpfes ein. Der t u b e r a l e Sitz als Mittellage hat die beiden Tubera ossis ischii als unterstützende Teile des Beckens. Wird das Becken weiter rückgeneigt, entsteht der t u b e r o - s a c r a l e und schließlich der s a c r a l e Sitz. Wird das Becken von der Mittellage aus nach vorne geneigt, so werden die Oberschenkel zur Unterstützung herangezogen, und es entsteht der t u b e r o - f e m o r a l e Sitz. Schließlich können bei dem t u b e r o - p u b i s c h e n Sitz auch noch die Schambeine als Unterstützungsfläche dienen.

SCHOBERTH (1962) definiert je nach Gewichtsbelastung der Füße und nach der Lage des KSP eine vordere, mittlere und hintere Sitzhaltung. Bei der m i t t l e r e n Sitzhaltung ruht rund 1/4 des Körpergewichtes auf den Füßen, der KSP liegt über den Sitzbeinhöckern. Bei der h i n t e r e n Sitzhaltung ist die Gewichtsbelastung der Füße kleiner, bei der v o r d e r e n Sitzhaltung größer als 25 % des Körpergewichtes.

4.1.2. Die Sitzhaltungen nach dem äußeren Bild unter Berücksichtigung biomechanischer Aspekte (Abb. 39)

Die Einteilung der Sitzhaltungen muß mehrere Gesichtspunkte

berücksichtigen. Überschneidungen lassen sich nicht vermeiden, da es unzählige Variationen gibt. Zum Verständnis der folgenden Untersuchungen wurden von uns 4 typische Sitzhaltungen nach dem äußeren Erscheinungsbild definiert (Abb. 39):

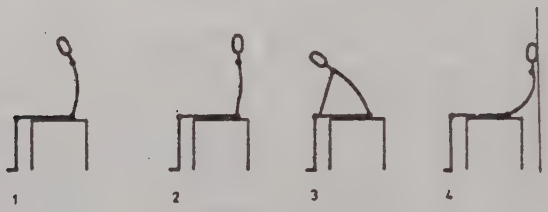

Abb. 39 Die 4 Sitzhaltungen nach dem äußeren Bild

1. Mittlere, entspannte Sitzhaltung
2. Mittlere, angespannte Sitzhaltung
3. Vordere Sitzhaltung
4. Hintere Sitzhaltung

1. Mittlere, entspannte Sitzhaltung (SH)

Die Oberschenkelachse bildet mit der Rumpfachse etwa einen rechten Winkel. Die Rücken- und Bauchmuskulatur ist weitgehend entspannt, die Wirbelsäule ist kyphosiert. Der Kopf ist leicht gesenkt. Es ist die Haltung, die der Mensch bei längerem Sitzen ohne Lehne gewohnheitsmäßig einzunehmen pflegt.

2. Mittlere, angespannte Sitzhaltung

Die Oberschenkelachse bildet mit der Rumpfachse ebenfalls einen rechten Winkel. Rücken- und Bauchmuskulatur sind angespannt, die Wirbelsäule ist gestreckt. Der Kopf ist erhoben.

3. Vordere Sitzhaltung (Kutscherhaltung)

Die Oberschenkelachse bildet mit der Rumpfachse ventral einen spitzen Winkel. Die Rumpfmuskulatur ist entspannt. Der Rumpf ist vorgeneigt, die Unterarme stützen sich auf die Oberschenkel. Der Kopf ist vorgeneigt.

4. Hintere Sitzhaltung

Die Oberschenkelachse bildet mit der Rumpfachse ventral einen stumpfen Winkel. Die Bauchmuskulatur ist angespannt. Der Rumpf ist rückgeneigt. Eine Rückenlehne ist erforderlich. Der Kopf ist entweder rückgeneigt oder stützt sich ebenfalls an die Rückenlehne.

In den einzelnen SHn wird der Körperschwerpunkt über der Unterstützungsfläche gebildet von den Teilschwerpunkten des Rumpfes, des Kopfes und der beiden Arme. OLLEFS (1951) schlug vor, die Summe dieser Körperteilschwerpunkte als s u p r a i s c h i a l e n P a r t i a l s c h w e r p u n k t zu bezeichnen. Dieser Begriff sagt eindeutig aus, daß nur der gemeinsame Körperteilschwerpunkt von Kopf, Rumpf und Armen als wirksamer Körperschwerpunkt im Sitzen auftritt.

4.2. Untersuchungsmaterial

Zur Bestimmung des s u p r a i s c h i a l e n P a r - t i a l s c h w e r p u n k t e s wurde die Umrißzeichnung einer männlichen erwachsenen Vp im Maßstab 1 : 10 verwendet.

Zur Bestimmung der D r e h a c h s e d e s B e c k e n s wurde 1 männliche erwachsene Vp untersucht.

Für die Untersuchung der B e c k e n s t e l l u n g und der L W S - H a l t u n g in den 4 typischen SHn sowie zur gleichzeitigen Bestimmung der Gewichtsverteilung auf Sitzfläche und Fußunterlage stellten sich 40 männliche Vpn im Alter zwischen 20 und 30 Jahren zur Verfügung.

Zur Bestimmung der G e w i c h t s v e r t e i l u n g auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rückenlehne wurden in einer zweiten Versuchsreihe 11 Vpn beiderlei Geschlechts und im Alter zwischen 24 und 60 Jahren untersucht.

Zur Bestimmung des K ö r p e r s c h w e r p u n k t w e - g e s beim Übergang vom Stehen zum Sitzen untersuchten wir eine weibliche Vp im Alter von 24 Jahren.

4.3. Untersuchungsmethode

4.3.1. Bestimmung des Partialschwerpunktes (Abb. 40, 41; Tab. 10, 11)

Zur a n a l y t i s c h e n B e s t i m m u n g des su-

praischialen Partialschwerpunktes im Sitzen benötigten wir die Relativgewichte von Kopf, Rumpf, Oberarm, Unterarm und Hand sowie die Lage der Schwerpunkte dieser Körperteile. Die Gewichte der einzelnen Körperteile stehen bei einem normal gebauten Erwachsenen in einem festen Verhältnis zum Gesamtgewicht. Tab. 10 zeigt die abgerundeten Relativgewichte der Körperteile (FISCHER und BERNSTEIN, zit. bei HOCHMUTH, 1967).

Tab. 10 Relativgewichte der Körperteile des Menschen (FISCHER und BERNSTEIN, zit. bei HOCHMUTH, 1967)

Körperteil	Körpergewicht = 100	Körpergewicht = 1
Kopf	7	0,07
Rumpf	43	0,43
1 Oberschenkel	12	0,12
1 Unterschenkel	5	0,05
1 Fuß	2	0,02
1 Oberarm	3	0,03
1 Unterarm	2	0,02
1 Hand	1	0,01

Die Schwerpunkte der Extremitäten liegen auf ihren Längsachsen. Der Abstand dieser Teilschwerpunkte vom proximalen Gelenk wird als S c h w e r p u n k t r a d i u s bezeichnet. Die einzelnen Schwerpunktradien sind Abb. 40 zu entnehmen.

Der Schwerpunkt des Rumpfes liegt auf der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der queren Schultergelenk- und Hüftgelenkachse. Als Schwerpunktradius wird hier der Abstand des Rumpfschwerpunktes von der queren Schultergelenkachse be-

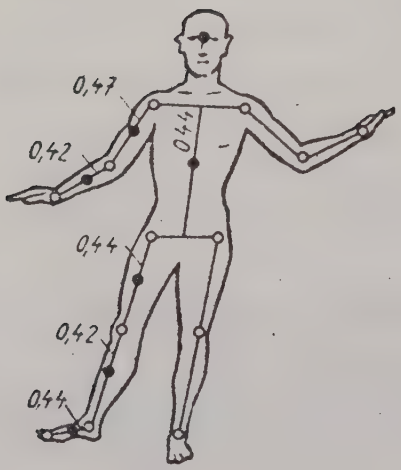

Abb. 40 Schwerpunktradien nach FISCHER (bei HOCHMUTH, 1967)

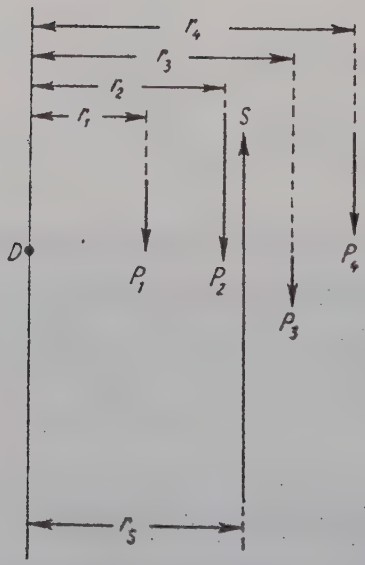

Abb. 41 Kraftrichtung und Drehmoment (nach HOCHMUTH)

zeichnet. Der Teilschwerpunkt des Kopfes liegt hinter dem Türkensattel des Keilbeines.

Es gelten für die in Abb. 41 dargestellten Kraftwirkungen folgende Gleichgewichtsbedingungen:

$$S = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \qquad (1)$$

$$Sr_s = P_1r_1 + P_2r_2 + P_3r_3 + P_4r_4 \qquad (2)$$

Wenn die Kräfte P_1 bis P_4 und ihre senkrechten Abstände r_1 bis r_4 zu einer Drehachse D bekannt sind, läßt sich der Abstand r_s der Stützkraft S von der Drehachse bestimmen:

$$r_s = \frac{P_1r_1 + P_2r_2 + P_3r_3 + P_4r_4}{S} \qquad (3)$$

oder auch

$$r_s = \frac{P_1r_1 + P_2r_2 + P_3r_3 + P_4r_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \qquad (4)$$

oder auch

$$r_s = \frac{\sum P_i \cdot r_i}{P_{ges.}} \qquad (5)$$

Mit Hilfe von Gleichung (5) konnte der KSP des Menschen bestimmt werden, da von den einzelnen Körperteilen die Lage des Schwerpunktes und das Gewicht bekannt waren. Es wurde eine Körperumrißzeichnung in beliebigem Maßstab einem kartesischen Koordinatensystem angelegt. Dann wurden die Gelenkmittelpunkte markiert und die einzelnen Körperteilschwerpunkt entsprechend den Schwerpunktradien eingezeichnet. P_1, P_2, P_3 und P_4 waren die Teilschwerpunkte, r_1, r_2, r_3 und r_4 waren die Ab-

stände dieser Teilschwerpunkte von der x- bzw. y-Koordinatenachse. Die x- und y-Koordinatenwerte der einzelnen Schwerpunkte wurden in eine Tabelle eingetragen und die Produkte gebildet aus dem relativen Gewicht des Körperteils und dem x- bzw. y-Abstand von der Koordinatenachse. Es wurden also die Momente der Schwerkraft des Körperteils in bezug auf die entsprechenden Punkte der Koordinatenachse als Drehpunkte berechnet. Die Summe der Momente wurde gebildet, indem getrennt die Produkte $x \cdot \Delta G$ bzw. $y \cdot \Delta G$ summiert wurden, wobei ΔG als das relative Körperteilgewicht definiert war. Entsprechend der Gleichung (5) wurde die Summe der Momente jeweils durch das Gesamtgewicht dividiert. An Hand der so ermittelten Werte x_s und y_s konnte der gesuchte Schwerpunkt in das Koordinatensystem eingezeichnet werden.

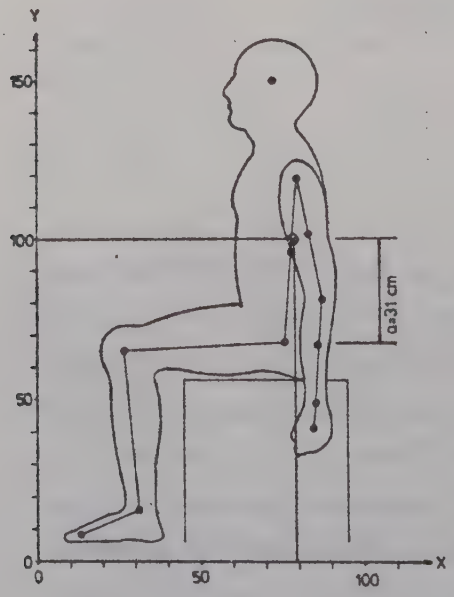

Abb. 42 Supraischialer Partialschwerpunkt

Zur Bestimmung der Lage des supraischialen Partialschwerpunktes legten wir die Umrißzeichnung eines Sitzenden mit dem Maßstab 1 : 10 an ein Koordinatensystem. Bei einem mittelgroßen Mann beträgt die Entfernung vom Schultergelenk zum Hüftgelenkmittelpunkt im Durchschnitt 50 cm. Auf unserer Umrißzeichnung erschien sie also mit einer Länge von 5 cm (Abb. 42). Die abgelesenen Werte von x und y sowie die errechneten von $x \cdot \Delta G$ und $y \cdot \Delta G$ sind Tab. 11 zu entnehmen.

Tab. 11 Ermittlung des supraischialen Partialschwerpunktes

Körperteil	relatives Gewicht ΔG	x (cm)	y (cm)	$x \cdot \Delta G$ (cm)	$y \cdot \Delta G$ (cm)
Kopf	0,07	73	150	5,11	10,50
Rumpf	0,43	78	97	33,54	41,71
linker Oberarm	0,03	83	102	2,49	3,06
rechter Oberarm	0,03	83	102	2,49	3,06
linker Unterarm	0,02	86	67	1,72	1,34
rechter Unterarm	0,02	86	67	1,72	1,34
linke Hand	0,01	84,5	41,5	0,845	0,415
rechte Hand	0,01	84,5	41,5	0,845	0,415
Σ	0,62			48,75	61,84

Entsprechend der Gleichung (5) waren

$$x_s = \frac{\Sigma x \cdot \Delta G}{\Sigma \Delta G} = \frac{48{,}75}{0{,}62} = 78{,}6 \text{ cm}$$

und $$y_s = \frac{\Sigma y \cdot \Delta G}{\Sigma \Delta G} = \frac{61{,}84}{0{,}62} = 99{,}7 \text{ cm}$$

X_s und y_s wurden in das Koordinatensystem eingezeichnet. Nun konnte die Lage des supraischialen Partialschwerpunktes direkt abgelesen werden.

4.3.2. Schwerpunktwaage nach DALMUS (Abb. 43, 44)

Zur Darstellung der Schwerelinie auf Röntgenbildern war der Gebrauch einer Schwerpunktwaage erforderlich. Ein Mitarbeiter des Instituts für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule Köln, Herr DALMUS, konstruierte eine Schwerpunktwaage, die eine Weiterentwicklung der von LEGER (1959) für seine Wirbelsäulenganzaufnahmen benutzten Schwerpunktwaage darstellt. Auf einer Grundplatte aus Stahlblech ist längs der Mitte ein Wiegekeil montiert, auf dem eine Trittplatte aus Stahl in der Größe 410 x 410 mm ruht. Der Bewegungsausschlag der Trittplatte wird durch je einen Gummipuffer an den 4 Ecken gedämpft. Sie kann sich um maximal 2,2 mm nach jeder Seite neigen. An den beiden Seiten der Waage ist je ein Mikroschalter angebracht. Schon eine Neigung der Trittplatte um 0,2 mm läßt über den Mikroschalter auf der entsprechenden Seite eine Kontrollampe aufleuchten. Steht die Trittplatte horizontal, so befindet sich die Waage im Gleichgewicht, und keine der beiden Kontrollampen leuchtet. Steht eine Vp auf der Trittplatte

und befindet sich ihr Schwerpunkt genau über der Plattenmitte, so steht die Platte horizontal. Wenn sich der Körperschwerpunkt nach links oder rechts verschiebt, neigt sich die Trittplatte zur entsprechenden Seite, während sie sich auf der Gegenseite hebt. Auf Grund des Körpergewichtes der Vp biegt sich die Stahlplatte minimal auf beiden Seiten. Liegt der Schwerpunkt der Vp genau über dem Wiegekeil und damit über der Plattenmitte, so leuchten durch Ansprechen der Mikroschalter beide Kontrollampen gleichzeitig auf. Verlagert sich der Schwerpunkt der Vp zu einer Seite, so wird die Trittplatte auf der Gegenseite entlastet, und die entsprechende Kontrollampe erlischt. Die 4 Füße der Waage sind verstellbar und ermöglichen auf unebenem Boden die Horizontaleinstellung.

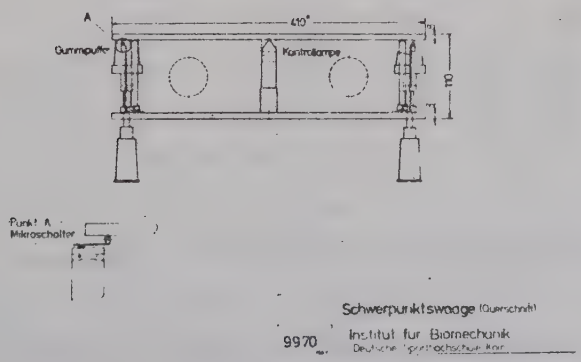

Abb. 43 Schwerpunktwaage nach DALMUS (Querschnitt)

Diese Schwerpunktwaage arbeitete so exakt, daß im Sitzen schon ein Weg des supraischialen Partialschwerpunktes von 2 mm nach rechts oder links genügte, um über die Mikroschalter und Kontrollampen dessen Verlagerung anzuzeigen. Die Mitte

der Waage war bei gleichzeitig aufleuchtenden Kontrollampen der Fußpunkt der Schwerelinie. Die Schwerelinie selbst konnte auf dem Röntgenbild dargestellt werden, indem vor die Röntgenkassette ein Metallot so gehängt wurde, daß dieses - bei Betrachtung von vorne - in der Mitte der Waage endete. Das Metallot, z.B. eine feine Bleikette, wurde auf dem Röntgenbild mitabgebildet und entsprach so dem Lot aus dem Gesamtkörperschwerpunkt bei einer stehenden und dem Lot aus dem supraischialen Partialschwerpunkt bei einer sitzenden Vp.

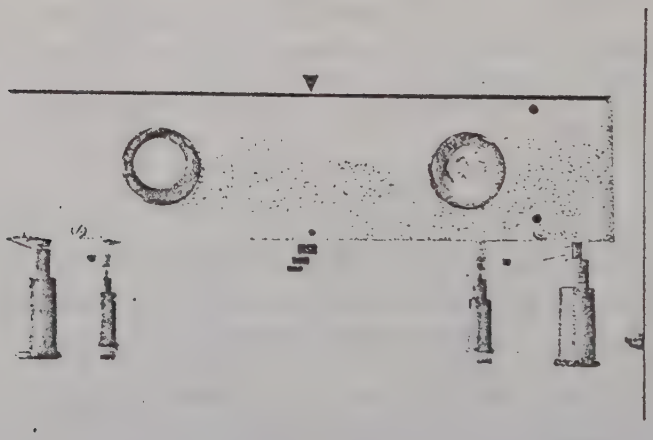

Abb. 44 Schwerpunktwaage nach DALMUS (Vorderansicht)

4.3.3. Herstellung der Röntgenaufnahmen in den verschiedenen Sitzhaltungen (Abb. 45, 46)

Die Röntgenbilder der 40 Vpn wurden mit einem SIEMENS-Tridorus 55 - Gerät (Sechsspulgenerator, Drehanode, Rasterrandgerät, Tiefenblende) aufgenommen. Zur Darstellung der Schwerelinie wurde die oben beschriebene Schwerpunktwaage benutzt. Zur

Darstellung der Verteilung des Körpergewichts auf Füße und Rumpf wurden 2 Druckmeßplatten (Dynamometer) verwendet, die sowohl die vertikale als auch die horizontale Kraftkomponente anzeigen konnten. Der transversale Röntgenstrahl sollte bei den Beckenaufnahmen möglichst die Hüftgelenke treffen. Die niedrigste Einstellung des Zentralstrahles war mit 90 cm Erdbodenentfernung festgelegt. Die Sitzflächenhöhe mußte 80 cm betragen, da der Abstand der queren Hüftgelenkachse zur Sitzfläche rund 10 cm beträgt (vgl. 4.4.1.). Eine Abstützung der Füße 45 cm unterhalb der Sitzflächenhöhe, d.h. 35 cm vom Fußboden entfernt, war erforderlich. Der Film-Fokus-Abstand betrug 1 m. Der Schutz der Genitale erfolgte mit einem Blei-Gummihandschuh. Die Versuchsanordnung ist Abb. 45 zu entnehmen.

Zuerst wurde von jeder Vp auf einem der Dynamometer das Gesamtkörpergewicht bestimmt. Dann wurde die Vp angehalten, die mittlere, entspannte Sitzhaltung einzunehmen. In dieser Haltung mußte sich die Vp nun so lange mit dem Gesäß auf der Sitzfläche nach vorne oder hinten bewegen, bis das gleichzeitige Aufleuchten der Kontrollampen der Schwerpunktwaage anzeigte, daß sich der supraischiale Partialschwerpunkt über der Mitte der Waage befand. Nun wurde die erste Röntgenaufnahme gemacht. Danach nahm die Vp die mittlere, angespannte SH ein und bewegte sich ebenfalls so lange auf der Sitzfläche nach vorne oder hinten, bis die Schwerpunktwaage im Gleichgewicht war und die zweite Röntgenaufnahme gemacht werden konnte. Für die dritte Röntgenaufnahme wurde die sogenannte "Kutscherhaltung", also die vordere SH, eingenommen, indem die Un-

terarme sich auf die Oberschenkel stützten. Auch hier wurde auf den Gleichgewichtszustand der Schwerpunktwaage geachtet. Schließlich wurde die Vp angehalten, sich hinten anzulehnen und damit die hintere SH einzunehmen. In dieser SH mußte die Schwerelinie unberücksichtigt bleiben, da sie nicht das Lot aus dem supraischialen Partialschwerpunkt dargestellt hätte, sondern wegen der Rückenabstützung nur das Lot aus einem nicht genau definierbaren Körperteilschwerpunkt.

In dem Augenblick, in dem eine Röntgenaufnahme gemacht wurde, las ein Mitarbeiter die Spannungswerte am Meßverstärker der Druckmeßplatten ab. Nachträglich wurde dann die Umrechnung der Spannungswerte in Körperteilgewichtswerte vorgenommen, so daß bei der Auswertung der Befunde ein Vergleich zwischen Röntgenaufnahme und Gewichtsverteilung möglich war.

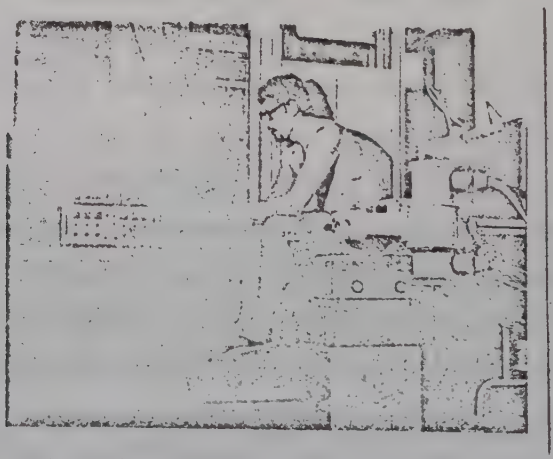

Abb. 45 Röntgenaufnahmen im Sitzen - Versuchsanordnung mit Vp

10 der 40 Vpn zeigten pathologische Veränderungen, insbesondere im Bereich der LWS. So konnten insgesamt von nur 30 Vpn die 4 Röntgenbilder entsprechend den 4 typischen Sitzhaltungen ausgewertet werden. Da bei den verschiedenen SHn die Bewegungen sowohl des Beckens als auch der LWS von Interesse waren, wurde das Untersuchungsgut geteilt. Bei 20 Vpn war der Zentralstrahl so eingestellt, daß das Becken mit den 2 letzten LWK auf dem Film erschien. Bei 10 Vpn dagegen wurde die LWS aufgenommen, ohne das Becken zu berücksichtigen. Hier war der Zentralstrahl auf die mittlere LWS eingestellt.

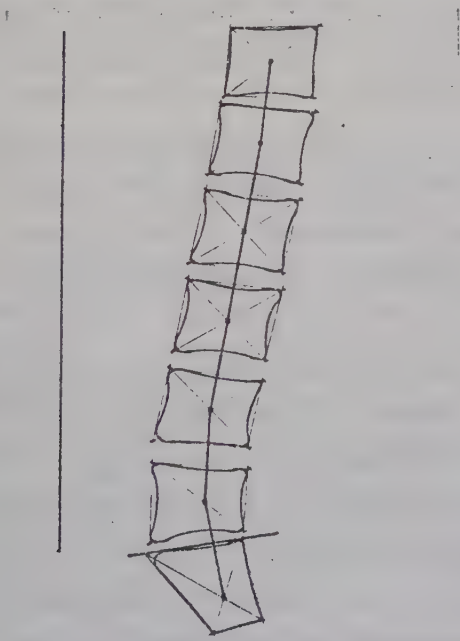

Abb. 46 Krümmungskurve der LWS

Zur exakten Auswertung der 120 Röntgenbilder im Sitzen stellten wir wieder Pausen her. Bei den 20 x 4 Beckenaufnahmen zeichneten wir die in Absatz 2.3. beschriebenen Hilfslinien

ein. In die 10 x 4 Aufnahmen der LWS zeichneten wir die Krümmungskurve nach FICK (1910) ein: Um jeden Wirbelkörper wurde ein umschreibendes Viereck gezeichnet und die Diagonalen eingetragen. Der Schnittpunkt der Diagonalen stellte jeweils den Wirbelkörpermittelpunkt dar. Die Verbindungslinien der Wirbelkörpermittelpunkte zeigten die Krümmungen der Wirbelsäule an. Abb. 46 zeigt eine Röntgenpause der LWS mit den eingezeichneten Hilfslinien und der Krümmungskurve.

Die Bewegung der LWS in den einzelnen Segmenten konnte direkt abgelesen werden, wenn man die auf transparentes Papier gepausten Röntgenbilder der einzelnen SHn übereinander legte. Die Verbindungslinien sich entsprechender Wirbelkörpermittelpunkte waren deckungsgleich, wenn in dem betreffenden Segment keine Bewegung stattgefunden hatte. Sie bildeten einen Winkel miteinander, wenn eine Bewegung stattgefunden hatte. Je größer dieser Winkel war, desto größer war das Bewegungsausmaß.

Zur Bestimmung der Drehachse des Beckens wurden von einer Vp Beckenaufnahmen in den 4 SHn gemacht, nachdem die Vp angehalten worden war, zwischen den einzelnen Aufnahmen das Gesäß nicht auf der Unterlage zu verschieben. Die vor der Röntgenkassette hängende Bleikette wurde in diesem Fall nicht zur Darstellung der Schwerelinie benötigt, sondern zur räumlichen Markierung. Die Pausen der so entstandenen 4 Röntgenaufnahmen wurden übereinander gelegt und die Geraden der Bleikette in Deckungsgleichheit gebracht.

4.3.4. Bestimmung der Körpergewichtsverteilung in den verschiedenen Sitzhaltungen

Bei 11 Vpn wurde die Körpergewichtsverteilung in den 4 typischen Sitzhaltungen mit Hilfe der Dynamometer, diesmal jedoch ohne gleichzeitige Röntgenaufnahmen, gemessen. Die Vpn wurden wieder angehalten, nacheinander die 4 typischen SHn einzunehmen. In dieser Versuchsreihe wurden nicht nur die vertikalen, sondern auch die horizontalen Werte mit den Dynamometern gemessen. Zur Feststellung der Variabilität der Ergebnisse bei den einzelnen Vpn führten wir die Messungen in je 5 Serien durch. Zwischen den einzelnen Serien lagen Zeitabstände bis zu 1 Stunde, in denen sich die Vpn frei bewegen sollten.

4.3.5. Bestimmung des Körperschwerpunktweges beim Übergang vom Stehen zum Sitzen (Abb. 47 a - i)

Eine weibliche Vp im Alter von 24 Jahren wurde beim Übergang von einer aufrechten Haltung im Stehen zur mittleren, entspannten Sitzhaltung in schneller Folge hintereinander fotografiert. Von den insgesamt 9 Fotografien stellten wir Fotopausen her. Um den Schwerpunktweg beim Übergang vom Stehen zum Sitzen darzustellen, wurde wieder die analytische Bestimmung des KSP bei den Fotopausen der einzelnen Bewegungsphasen angewendet. Auf den Abbildungen 47 a - h sind die einzelnen Körperteilschwerpunkte und der daraus errechnete Gesamtkörperschwerpunkt zu erkennen. Auf Abb. 47 i wurde der supraischiale Partialschwerpunkt eingezeichnet, weil nur er über der Sitzfläche zur Geltung kommt. Die einzelnen errechneten Körperschwerpunkte wurden auf eine Zeichnung übertragen, in-

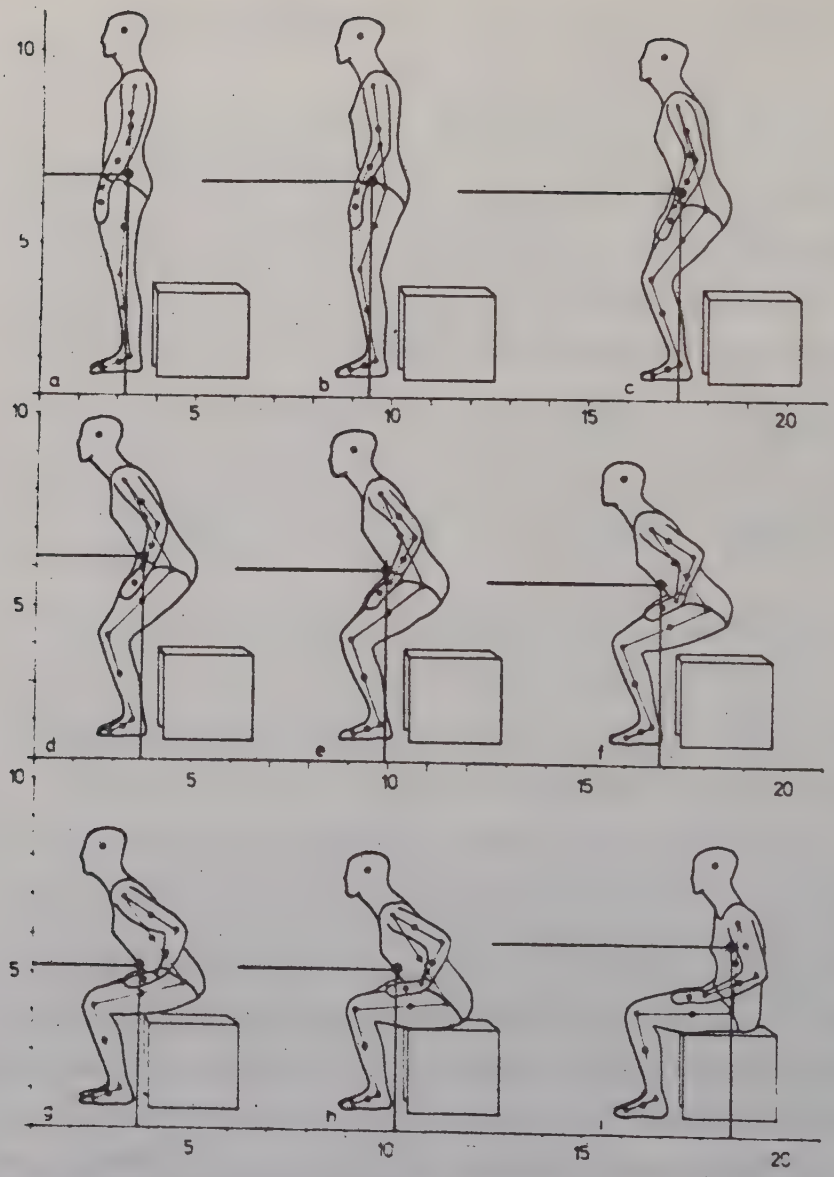

Abb. 47 a - i Übergang vom Stehen zum Sitzen (Fotopausen mit eingezeichneten Körperteilschwerpunkten und dem jeweils errechneten KSP)

dem die Fußsohlen jeweils in Deckungsgleichheit gebracht wurden. So ließ sich der Schwerpunktweg gut darstellen.

4.4. Untersuchungsergebnisse

4.4.1. Der supraischiale Partialschwerpunkt

Der supraischiale Partialschwerpunkt befindet sich etwa 3,1 cm über der queren Hüftgelenkachse auf unserer Umrißzeichnung (Abb. 42). Da der Maßstab 1 : 10 beträgt, liegt der Partialschwerpunkt im Sitzen also rund 31 cm über der queren Hüftgelenkachse. Beim Sitzen beträgt der Abstand der queren Hüftgelenkachse von der Sitzfläche bei einem durchschnittlich großen, normal gebauten Mann 9 - 10 cm. Diese 9 - 10 cm wurden zu den 31 cm addiert. Der gesuchte Abstand des supraischialen Partialschwerpunktes von der Sitzfläche und damit von der Unterstützungsfläche beträgt also etwa 40 cm.

4.4.2. Beckenachsenwinkel δ, Kreuzbeindeckplattenwinkel α in den 4 Sitzhaltungen (Abb. 36, 37; Tab. 12, 13)

Der **Beckenachsenwinkel** δ beträgt in der mittleren, entspannten SH rund 50° und in der mittleren, angespannten SH rund 35°. In der vorderen SH ist er mit rund 25° am kleinsten, in der hinteren SH mit rund 75° am größten (Tab. 12).

Der **Kreuzbeindeckplattenwinkel** α beträgt in der mittleren, entspannten SH annähernd 90°, die Stellung der Kreuzbeindeckplatte ist also annähernd horizon-

tal. Bei der mittleren, angespannten SH beträgt der Kreuzbeindeckplattenwinkel rund 70°. Bei der vorderen SH ist er mit rund 60° am kleinsten, bei der hinteren SH mit rund 110° am größten (Tab. 13).

Tab. 12 Beckenachsenwinkel $\hat{\delta}$ in den 4 Sitzhaltungen bei 20 Vpn

Sitzhaltung	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
mittlere, entspannte	50,7	8,0	15,8
mittlere, angespannte	36,1	10,4	28,7
vordere	25,5	8,5	33,4
hintere	76,7	7,1	9,3

Tab. 13 Kreuzbeindeckplattenwinkel α in den 4 Sitzhaltungen bei 20 Vpn

Sitzhaltung	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
mittlere, entspannte	86,5	8,5	9,9
mittlere, angespannte	71,5	10,7	15,0
vordere	61,8	9,2	15,0
hintere	109,2	24,4	22,3

4.4.3. Schwereliniendistanz s bei 20 Vpn (Tab. 14)

Die Schwereliniendistanz s beträgt im Durchschnitt bei der mittleren, entspannten SH ebenso wie bei der mittleren, angespannten SH - 1,2 cm. Der Variabilitätskoeffizient ist mit 135,0 % bzw. 163,3 % außerordentlich groß. Bei der vorderen SH beträgt die Schwereliniendistanz - 3,2 cm mit einem Variabilitätskoeffizienten von 78,2 %.

Tab. 14 Schwereliniendistanz s bei 20 Vpn in den verschiedenen Sitzhaltungen

Sitzhaltung	Mittelwert (cm)	Standardabweichung (cm)	Variabilitätskoeffizient (%)
mittlere, entspannte	- 1,2	1,6	135,0
mittlere, angespannte	- 1,2	1,9	163,3
vordere	- 3,2	2,5	78,2

4.4.4. Bewegung der LWS bei 10 Vpn (Tab. 15 - 17)

Beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten Sitzhaltung findet eine Dorsalflexion der LWS statt. Beim Übergang von der mittleren, angespannten zur vorderen Sitzhaltung findet eine Ventralflexion der LWS statt. Beim Übergang von der vorderen zur hinteren SH schließlich findet wieder eine Dorsalflexion der LWS statt. Das Ausmaß dieser Bewegungen in den einzelnen Bewegungssegmenten ist den

Tab. 15 Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten Sitzhaltung bei 10 Vpn

Segment	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
LV/SI	1,9	1,1	57,9
LIV/LV	2,9	2,7	92,6
LIII/LIV	4,2	3,9	92,4
LII/LIII	4,9	3,0	62,7
LI/LII	5,3	3,6	68,3

Tab. 16 Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der mittleren, angespannten zur vorderen Sitzhaltung bei 20 Vpn

Segment	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
LV/SI	2,6	1,4	54,9
LIV/LV	3,9	2,5	64,5
LIII/LIV	6,7	7,8	117,1
LII/LIII	7,0	3,9	55,1
LI/LII	7,4	3,7	49,4

Tabellen 15 - 17 zu entnehmen.

Tab. 17 Bewegungsumfang der LWS beim Übergang von der vorderen zur hinteren Sitzhaltung bei 10 Vpn

Segment	Mittelwert (Grad)	Standardabweichung (Grad)	Variabilitätskoeffizient (%)
LV/SI	2,7	1,5	57,3
LIV/LV	3,3	2,1	60,6
LIII/LIV	3,3	3,2	96,4
LII/LIII	3,7	0,6	15,7
LI/LII	5,7	3,1	53,9

4.4.5. Verteilung des Körpergewichts auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rückenlehne (Tab. 18 - 20)

Für die 20 Vpn, bei denen gleichzeitig mit den Röntgenaufnahmen des Beckens in den verschiedenen Sitzhaltungen die Verteilung des Körpergewichts (KG) auf Sitzfläche und Fußunterlage gemessen wurde, ergaben sich die in Tab. 18 und 19 zusammengestellten Werte.

Die Untersuchung der Belastung von Sitzfläche und Fußunterlage bei 11 Vpn in unserer zweiten Messungsreihe mit den Dynamometern ergab Werte, die etwa denen der ersten Messungsreihe entsprachen. In den beiden mittleren Sitzhaltungen wurde die

Tab. 18 Die Belastung der Sitzfläche in Prozent des Körpergewichts bei 20 Vpn

Sitzhaltung	Mittelwert	Standardabweichung	Variabilitätskoeffizient (%)
mittlere, entspannte	82,0	5,5	6,8
mittlere, angespannte	82,7	5,0	6,0
vordere	64,9	6,3	9,7
hintere	73,1	7,7	10,6

Tab. 19 Die Belastung der Fußunterlage in Prozent des Körpergewichts bei 20 Vpn

Sitzhaltung	Mittelwert	Standardabweichung	Variabilitätskoeffizient (%)
mittlere, entspannte	18,8	5,3	28,2
mittlere, angespannte	17,2	4,9	28,4
vordere	34,0	6,7	19,4
hintere	13,8	6,3	45,3

Sitzfläche mit etwa 80 % des KG belastet, in der vorderen mit etwa 60 % und in der hinteren mit etwa 75 % des Gesamtkörpergewichts. Der Variabilitätskoeffizient bei den einzelnen Vpn

betrug maximal 10 %. Die horizontale Komponente des Körpergewichts zeigte in der mittleren, entspannten und angespannten sowie in der vorderen SH so geringe Werte, daß sie praktisch außer acht gelassen werden konnten. In der hinteren SH dagegen betrug sie auf der Sitzfläche fast 10 % des KG (Tab. 20).

Tab. 20 Horizontalkomponenten des Körpergewichts auf Sitzfläche und Fußunterlage in der hinteren Sitzhaltung bei 11 Vpn (in Prozent des Körpergewichts)

Fläche	Mittelwert	Standardabweichung	Variabilitätskoeffizient (%)
Sitzfläche	9,5	2,0	21,3
Fußunterlage	2,3	0,9	41,8

4.5. Diskussion

4.5.1. Beckenrotation und Verlauf der Schwerelinie (Abb. 48)

Der Wechsel von einer Sitzhaltung in eine andere geht mit einer B e c k e n r o t a t i o n einher. Die quere Hüftgelenkachse ist die Drehachse des Beckens, um die sich die Bekkenbewegung beim Übergang von einer SH in eine andere vollzieht, wie Abb. 48 zeigt. Hier wurden von einer Versuchsperson die Pausen der Röntgenbilder in mittlerer, entspannter sowie in mittlerer, angespannter und vorderer SH übereinander gelegt und die Konturen der in diesem Fall der räumlichen Markierung dienenden Bleikette zur Deckung gebracht. Es

mußte sich nun die Drehachse des Beckens erkennen lassen als der Punkt, in dem eine bestimmte Beckenkontur auf allen Pausen ebenfalls deckungsgleich war. Eindeutig stellten sich die Hüftgelenke als Drehachse dar. Es scheint also nicht richtig zu sein, wechselnde Punkte an der Berührungsfläche zwischen dem Sitzbrett und dem Sitzbeinknorren als Drehpunkt anzunehmen, wie SCHOBERTH (1962) es tat. Erst in dem Moment, in dem die Tubera ossis ischii nicht mehr als Übertragungspunkte der Rumpflast dienen (hintere SH), ist die quere Hüftgelenkachse nicht mehr die Drehachse des Beckens. Das Becken rollt dann über das Kreuz- und Steißbein ab.

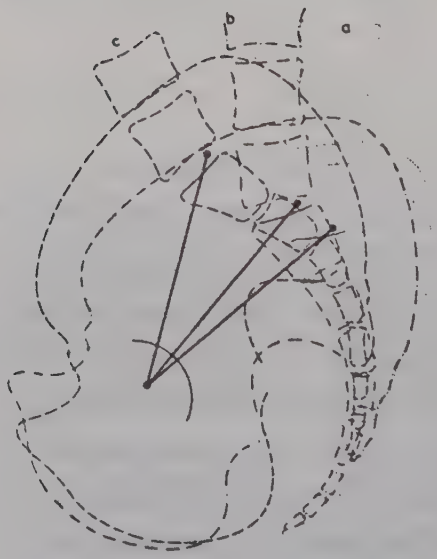

Abb. 48 Die quere Hüftgelenkachse als Drehachse

a = mittlere, entspannte Sitzhaltung

b = mittlere, angespannte Sitzhaltung

c = vordere Sitzhaltung

Eine Beckenrotation findet bei Haltungswechsel in jedem Fall statt, ungehinderte und physiologische Funktion vorausgesetzt. Das Ausmaß der Rotation errechneten wir, indem wir die Stellung der Beckenachse im Raum bei den einzelnen SHn miteinander verglichen. Der Beckenachsenwinkel in der mittleren, entspannten SH beträgt durchschnittlich 50°. Wird nun eine mittlere, angespannte SH eingenommen, muß eine Ventralrotation des Beckens stattfinden. Tatsächlich beträgt der Beckenachsenwinkel im Durchschnitt nur noch 35°. Die Ventralrotation bei der Aufrichtung von der mittleren, entspannten SH zur mittleren, angespannten SH beträgt also etwa 15°. Wird nun die vordere SH eingenommen, rotiert das Becken um weitere 10° nach ventral. Hier ist der Beckenachsenwinkel im Vergleich zu allen anderen SHn mit durchschnittlich 25° am kleinsten. Erwartungsgemäß ist die Dorsalrotation in der hinteren SH mit einem durchschnittlichen Beckenachsenwinkel von 75° am größten. Die Beckenrotation bewegt sich bei den 4 typischen Sitzhaltungen also in einem Bereich von rund 50°. Eine weitere Dorsalrotation führt zum Liegen. Eine weitere Ventralrotation wird bald dadurch gestoppt, daß der Oberkörper auf den Oberschenkeln aufliegt.

Mit der Beckenrotation verändert sich auch der Kreuzbeindeckplattenwinkel. Die Stellung der Kreuzbeindeckplatte ist in der mittleren, entspannten SH durchschnittlich bei 20 Vpn eine horizontale. In der mittleren, angespannten SH und in der vorderen SH ist die Kreuzbeindeckplatte nach vorne unten geneigt, während sie sich in der hinteren SH nach hinten unten neigt.

Die Schwerelinie im Sitzen ist die Lotrechte aus dem supraischialen Partialschwerpunkt. Die h o r i z o n t a l e S c h w e r e l i n i e n d i s t a n z s diente uns auch bei der Untersuchung der verschiedenen Sitzhaltungen als Maß für den Verlauf der Schwerelinie innerhalb des Beckens. Hier zeigt sich ebenso wie beim Stehen ein außerordentlich großer Variabilitätskoeffizient. In der Regel verläuft die Schwerelinie ventral von der queren Hüftgelenkachse, d.h. s ist negativ. Bei der mittleren, entspannten und angespannten Sitzhaltung kann in Ausnahmefällen die Schwerelinie dorsal von der queren Hüftgelenkachse verlaufen, d.h. s ist positiv. Die horizontale Schwereliniendistanz s beträgt durchschnittlich bei 20 Vpn in der mittleren, entspannten SH und in der mittleren, angespannten SH - 1,2 cm, in der vorderen SH dagegen - 3,2 cm. In der hinteren SH wurde diese Distanz nicht gemessen, da durch Rückenanlehnung der supraischiale Partialschwerpunkt nicht zur Geltung kommen konnte.

4.5.2. Bewegung der LWS (Abb. 49)

Das Gleichgewicht des Körpers wird bei der Dorsal- und Ventralrotation des Beckens gesichert durch eine entgegengesetzte Bewegung der Wirbelsäule. Beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten Sitzhaltung findet als Ausdruck einer Dorsalflexion im lumbosacralen Übergang (LV/SI) nur eine minimale Bewegung von durchschnittlich 2^{o} statt. Es ist bekannt, daß die Kreuzbeindeckplatte die Wirbelsäulenform bestimmt. Eine Rotation des Beckens und damit auch der Kreuzbeindeckplatte muß also eine Bewegung der Wirbelsäu-

le zur Folge haben. Das Becken rotiert beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten SH um durchschnittlich 15° nach ventral. Da hierbei im lumbosacralen Übergang nur eine Bewegung um 2° stattfindet, muß die Änderung der Wirbelsäulenform in höher gelegenen Bewegungssegmenten erfolgen. Tatsächlich wird auch das Bewegungsausmaß größer, je höher das Bewegungssegment liegt. Das größte Bewegungsausmaß ist mit rund 5° bei LI/LII zu finden.

Zu ähnlichen Untersuchungsergebnissen kam SCHOBERTH (1962). Er hatte bei 6 seitlichen Wirbelsäulenganzaufnahmen festgestellt, daß die LWS nur zur Hälfte an dem gemessenen Gesamtbewegungsumfang der Wirbelsäule beteiligt war. Die unteren Brustsegmente wurden ebenfalls zur Wirbelsäulenbewegung mit herangezogen. Die obere BWS dagegen blieb im wesentlichen steif. Das geringe Bewegungsausmaß im lumbosacralen Übergang erklärte SCHOBERTH damit, daß bereits beim Hinsetzen eine starke Ventralflexion der LWS gegen das Becken stattgefunden hätte und daß damit das Bewegungsausmaß in den unteren Segmenten nahezu ausgeschöpft gewesen wäre.

Auch beim Übergang von der mittleren, angespannten zur vorderen SH ist der Bewegungsumfang in den höher gelegenen Segmenten größer als in den unteren. Hier findet jedoch eine Ventralflexion statt. Die größte Bewegung findet mit rund 7° zwischen LI/LII statt.

Beim Übergang von der vorderen zur hinteren Sitzhaltung ro-

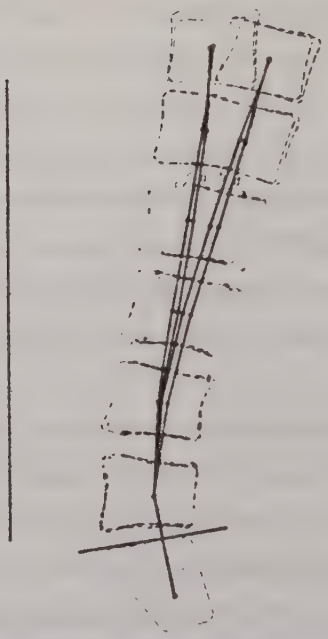

Abb. 49 Röntgenpausen der LWS in den 4 Sitzhaltungen
Die Kreuzbeindeckplatten sind deckungsgleich projiziert.
a = mittlere, entspannte Sitzhaltung
b = mittlere, angespannte Sitzhaltung
c = vordere Sitzhaltung
d = hintere Sitzhaltung

tiert das Becken um durchschnittlich 50° nach dorsal (siehe 4.5.1.). Die LWS macht gleichsinnig eine Dorsalflexion. Dabei tritt das Lot aus dem supraischialen Partialschwerpunkt aus der Unterstützungsfläche heraus. Damit die hintere SH zu einer Ruhehaltung werden kann, ist es erforderlich, den Rücken an einer Lehne abzustützen.

4.5.3. Unterstützungsfläche und Verteilung des Körpergewichtes auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rückenlehne

Die Unterstützungsfläche im Sitzen ist größer als die im Stehen. Der supraischiale Partialschwerpunkt liegt mit 40 cm beim Sitzen näher an der Unterstützungsfläche als der KSP mit etwa 100 cm beim Stehen. Der Bewegungsraum des Schwerpunktes beim Sitzen ist damit deutlich größer, das Gleichgewicht ist stabiler als im Stehen. Muskelarbeit kann gespart werden.

Das Körpergewicht wird auf der Unterstützungsfläche, also der Sitzfläche, nicht gleichmäßig verteilt. Vielmehr heben sich markante Punkte ab, die die Hauptlast tragen. In den letzten beiden Jahrzehnten sind verschiedene Geräte und Methoden zur Erfassung dieses Problems entwickelt worden. JÜRGENS (1969) bediente sich für die direkte Feststellung der Druckverteilung wie SCHOBERTH (1962) des hydraulischen Druckmessers. Sein "Druckmeßapparat" war so konstruiert, daß sich jedes beliebige Sitz- und Rückenlehnenprofil herstellen ließ; dieses wurde mit hydraulischen Druckaufnehmern belegt. Die Druckaufnehmer waren 5 x 5 cm große, 0,5 cm dicke, mit Manometerflüssigkeit gefüllte Kunststoffkissen, von denen ein Schlauch zu einem Manometer führte. Die Manometer, die oberhalb der Maßskala einen Luftkessel hatten, waren geschlossen. Die Messung erfolgte also gegen den Druck der eingeschlossenen Luft. Das hatte den Vorteil, daß der Auflagedruck die Kunststoffkissen nur wenig verformte, so daß die einmal konstruierte Sitzflächenform erhalten blieb.

JÜRGENS untersuchte den Auflagedruck auf die Sitzfläche bei 104 Vpn. Bei den mittleren Sitzhaltungen ergab sich, daß die Auflagezonen der 2 Tubera ossis ischii als Hauptdruckzonen herausgehoben waren. Aber auch die unmittelbare Umgebung der Tubera nahm noch einen beträchtlichen Teil des Körperdruckes auf. War die Sitzfläche nach hinten unten geneigt, so wurde ihre vordere Kante mit bis zu 15 % des Sitzdruckes belastet, d.h. die Oberschenkel mußten bis zu 15 % der Rumpflast tragen. War die Sitzfläche horizontal gestellt, so wurden die Oberschenkel mit nur 4 % des Sitzdruckes belastet. Bei der hinteren SH wurde mehr Gewicht auf die Tubera verlagert als bei der vorderen SH, während die Oberschenkel nahezu entlastet waren. Regelmäßig zeigte sich eine Asymmetrie der Sitzhaltungen. Meistens fand sich eine stärkere Belastung der linken Seite der Sitzfläche.

Beim Sitzen wird das Rumpfgewicht unter Ausschaltung der unteren Gliedmaßen direkt auf die Unterstützungsfläche des Sitzes übertragen. Über die Füße wird nur das Gewicht der Beine übertragen. Diese allgemeine Regel der Gewichtsverteilung gilt nicht für alle Sitzhaltungen. Bei der vorderen SH z.B. wird ein Teil der Rumpflast über die sich auf die Oberschenkel stützenden Unterarme von den Füßen aufgenommen. Bei der hinteren SH belastet ein Teil der Oberschenkel die Sitzfläche. Lösen sich dabei die Füße vom Boden, dann ruht das ganze Körpergewicht auf der Sitzunterlage. Wird eine Rückenlehne in Anspruch genommen, wie es vor allem bei der hinteren SH der Fall ist, so verteilt sich der Körperdruck auf Sitzfläche, Fußauflage und Rückenlehne.

Bei 20 Vpn beträgt in der mittleren, entspannten und angespannten SH die durchschnittliche Gewichtsbelastung der Sitzfläche 82 % des Gesamtkörpergewichts. In der vorderen SH werden die Tubera ossis ischii entlastet, sie haben nur noch 65 % des Körpergewichts auf die Sitzfläche zu übertragen. In der hinteren SH ist die Gewichtsbelastung der Sitzfläche mit ca. 75 % ebenfalls nicht so groß wie in den mittleren Sitzhaltungen. Hier nimmt die Rückenlehne einen Teil des KG auf. Die Kraft, die die Füße auf ihre Unterlage ausüben, beträgt in den beiden mittleren Sitzhaltungen etwa 18 % und in der vorderen SH rund 35 % des Gesamtkörpergewichts. In der hinteren SH beträgt die Belastung der Fußauflage dagegen nur rund 15 %. In den mittleren SHn und in der vorderen SH ergänzen sich die Gewichtsbelastungen in Prozent von Sitzfläche und Fußunterlage zu 100 %. In der hinteren SH beträgt die Belastung von Sitzfläche und Fußunterlage zusammen jedoch nur 75 % + 15 % = 90 %. Hier werden 10 % des Gesamtkörpergewichts durch die Rükkenlehne übertragen.

Bei den 11 Vpn, bei denen wir mit den Dynamometern neben der vertikalen auch die horizontale Kraftkomponente gemessen hatten, ergab die letztere in den mittleren SHn und in der vorderen SH keine Werte von nennenswerter Größe. In der hinteren SH dagegen beträgt die horzizontale Komponente auf der Sitzfläche rund 10 % des Gesamtkörpergewichts. Diese 10 % entsprechen dem in der ersten Versuchsreihe errechneten Wert des Körpergewichts auf die Rückenlehne in der hinteren SH (siehe 4.4.5., 20 Vpn). Der Druck auf die Rückenlehne muß einen gleich großen, aber entgegengesetzten horizontalen Druck auf

die Sitzfläche zur Folge haben.

4.5.4. Übergang vom Stehen zum Sitzen (Abb. 50, 51)

An der Stellungsänderung von Gliedmaßen beteiligt sich nicht nur das unmittelbar benachbarte Gelenk, sondern es sind auch die weiter entfernten Gelenke in Anspruch genommen. Dieses allgemein gültige Prinzip gilt insbesondere für die Bewegung des Körpers beim Übergang vom Stehen zum Sitzen. Neben der Bewegung in Hüft- und Kniegelenken findet eine Beckenrotation statt und eine Bewegung in praktisch allen Wirbelgelenken, um den Körper im Gleichgewicht zu halten.

Der Bewegungsgrad im K n i e g e l e n k ist abhängig von der Sitzflächenhöhe. Entspricht die Sitzflächenhöhe der Länge des Unterschenkels, so wird eine Beugebewegung um 90° vorgenommen. Ist sie niedriger, so wird das Knie entweder noch stärker gebeugt, um den Fuß unter den Sitz zu bringen, oder leicht gestreckt. Für alle über dem Knie liegenden Gelenke ist sein Bewegungsausschlag ohne Bedeutung.

Bei horizontal dem Sitzbrett aufliegenden Oberschenkeln bildet die Oberschenkelachse mit der Schwerelinie einen rechten Winkel. Die Beugung im H ü f t g e l e n k beträgt aber keine 90°. Das B e c k e n wird dorsalrotiert und übernimmt damit einen Teil der Beugebewegung. Die Rotation des Beckens findet um die quere Hüftgelenkachse statt. Die B e k k e n a c h s e zeigt durch ihre Stellungsänderung beim Übergang vom Stehen zum Sitzen den Grad der Beckenbewegung an.

Der Stellungswinkel der Beckenachse beträgt im Stehen durchschnittlich 15°. Würde die Beugebewegung der Oberschenkelachse gegen die Rumpfachse allein im Hüftgelenk ausgeführt werden, so müßte der Beckenachsenwinkel im Sitzen ebenfalls 15° betragen. In der mittleren, entspannten Sitzhaltung beträgt der Beckenachsenwinkel im Durchschnitt 50°. Das Becken hat damit eine Dorsalrotation von 50° - 15°, also von 35° ausgeführt. Die Oberschenkelachse braucht im Hüftgelenk nur eine Beugebewegung von 90° - 35°, also von 55° zu leisten, um mit der Rumpfachse einen rechten Winkel bilden zu können, denn die tatsächliche Beugebewegung im Hüftgelenk ergibt sich nach Abzug des Umfangs der Beckenrotation von dem Bewegungsumfang, den die Beinachse erfahren hatte (Abb. 50).

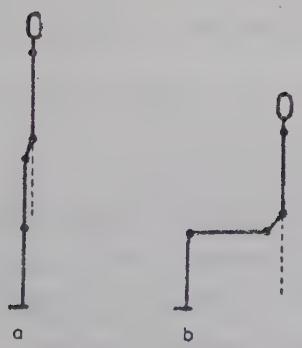

Abb. 50 Anteil des Beckens an der Beugebewegung der Oberschenkelachse gegen die Rumpfachse
a. Beckenachsenwinkel $\delta = 15°$ im Stehen
b. Beckenachsenwinkel $\delta = 50°$ im Sitzen

Die Dorsalrotation des Beckens muß sich auf die Form der Wirbelsäule, insbesondere am l u m b o s a c r a l e n Ü b e r g a n g, auswirken, da sich mit der Beckenstellung auch die Stellung der Kreuzbeindeckplatte ändert. Diese aber bestimmt die Form der Wirbelsäule (LEGER, 1959). Ein kleiner Kreuzbeindeckplattenwinkel α geht mit einer ausgeprägten Lendenlordose einher. Je größer der Kreuzbeindeckplattenwinkel wird, desto flacher wird die Lendenlordose sein, bis sie schließlich sogar in eine Lendenkyphose übergehen kann. Im aufrechten Stand beträgt der Kreuzbeindeckplattenwinkel im Mittel 55°. Bei unseren 20 Vpn zeigt er in der mittleren, entspannten Sitzhaltung Werte von etwa 85° - 90°. Somit hatte auch die Kreuzbeindeckplatte eine Drehung von 35° erfahren, was erwartungsgemäß mit dem Wert der Beckenachsenrotation übereinstimmt. Sowohl die Kreuzbeindeckplatte als auch die Beckenachse sind feste Bestandteile des Beckens. Ändert sich die Stellung des Beckens im Raum, so müssen sich Kreuzbeindeckplattenwinkel und Beckenachsenwinkel um den gleichen Betrag ändern.

Den Bewegungsumfang in den u n t e r e n L e n d e n s e g m e n t e n beim Übergang vom Stehen zum Sitzen überprüfte SCHOBERTH (1962) an Hand von Röntgenaufnahmen. Er ließ von 25 Vpn je eine Aufnahme im lockeren Stehen und in mittlerer, entspannter Sitzhaltung anfertigen. Letztere Haltung nannte SCHOBERTH die hintere Sitzhaltung. Das Ergebnis zeigte, daß im Sitzen eine ausgiebige Ventralflexion der LWS in den unteren Segmenten stattgefunden hatte. Der Gesamtbewegungsausschlag in den 3 unteren Segmenten betrug im Durchschnitt 30°,

wobei das Segment LV/SI mit etwa 9° beteiligt war und das Segment LIV/LV mit dem etwas größeren Bewegungsumfang von durchschnittlich 12°. Diese Ventralflexion der LWS war notwendig, um die Rückdrehung des Beckens zu kompensieren, den supraischialen Partialschwerpunkt nach ventral zu verlagern und ihn damit über die Unterstützungsfläche des sitzenden Körpers zu bringen.

Der K ö r p e r s c h w e r p u n k t bestimmt von vornherein die Bewegung in den verschiedenen Gelenken beim Hinsetzen. Abb. 47 zeigt Fotopausen einzelner Bewegungsphasen beim Übergang vom Stehen zum Sitzen. Auffällig ist bei zunehmender Hüftbeugung die starke Vorbeugung des ganzen Rumpfes in den ersten Phasen. Sie ist erforderlich, um den KSP über der Unterstützungsfläche zu halten. Die Unterstützungsfläche ist bis zum Augenblick des Aufsetzens des Gesäßes auf die Sitzfläche das relativ kleine Areal, das die Füße einschließen. Nach dem Aufsetzen wird die übermäßige Hüftbeugung verringert, die Oberschenkelachse bildet mit der Rumpfachse einen Winkel von 90°. Dabei ist, wie bereits nachgewiesen, das Becken mit einer Dorsalrotation von durchschnittlich 35° beteiligt. Die Unterstützungsfläche wird nun gebildet vom Gesäß und von den proximalen Anteilen der Oberschenkel. Sie liegt dorsal von der durch die Füße gebildeten Unterstützungsfläche.

Abb. 51 zeigt den Schwerpunktweg beim Übergang vom Stehen zum Sitzen. In den ersten Phasen bewegt sich der Schwerpunkt nahezu senkrecht nach unten. Er bleibt damit eindeutig über der durch die Füße gebildeten Unterstützungsfläche. Im Moment des

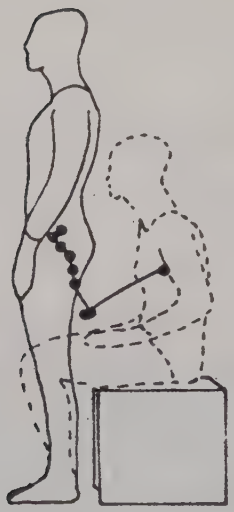

Abb. 51 Schwerpunktweg beim Übergang vom Stehen zum Sitzen

Aufsetzens bewegt er sich in einem scharfen Bogen nach hinten und oben. Er stellt sich auf die durch Gesäß und Oberschenkel gebildete neue Unterstützungsfläche ein und bildet damit den supraischialen Partialschwerpunkt. Ein kritischer Augenblick auf dem Schwerpunktweg muß dort sein, wo der KSP von der einen zur anderen Unterstützungsfläche hinüberwechselt. Das ist daran zu erkennen, daß dieser Wechsel nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft erfolgt. Der Körper befindet sich für einen Moment nur im labilen Gleichgewicht. Im Zuge des Hinsetzens muß er nach Überschreiten des stabilen Zustandes das "Hinfallen" auf die Sitzfläche mit Hilfe zusätzlicher Muskelkraft verhindern.

5. Zusammenfassung

Die Beckenstellung im Stehen und im Sitzen läßt sich am besten untersuchen mit Hilfe der funktionellen Beckenachsen. Die funktionellen Beckenachsen sind die Verbindungslinien der Mittelpunkte beider Hüftgelenke mit dem des Lumbosacralgelenkes.

Diese Beckenachsen haben bei Erwachsenen eine mittlere Länge von 15 cm mit einem Variabilitätskoeffizienten von nur 8,5 - 9 % trotz unterschiedlicher Größe der einzelnen Individuen.

Das Becken nimmt im aufrechten Stand eine Mittelstellung ein, von der aus eine Ventral- oder Dorsalrotation erfolgen kann. Die Beckenrotation vollzieht sich als Bewegung des Beckens um die quere Hüftgelenkachse (Ventral- bzw. Dorsalrotation).

Der Beckenachsenwinkel δ ist der Winkel des Beckens, den die Beckenachse nach distal mit der Raumsenkrechten bildet. Da die quere Hüftgelenkachse als Drehachse wirkt, läßt sich sowohl die Stellung des Beckens im Raum als auch die Bewegung des Beckens am besten mit dem Beckenachsenwinkel bestimmen. Im Stehen beträgt der Beckenachsenwinkel bei Erwachsenen durchschnittlich 15°. Bei Kindern weist das Becken eine größere Ventralrotation auf, wie der Beckenachsenwinkel von durchschnittlich 7° zeigt.

Die horizontale Gelenkdistanz d stellt den Abstand von der queren Hüftgelenkachse zu einer Lotrechten durch den Mittelpunkt des Lumbosacralgelenkes dar. Sie beträgt im Stehen 2,5 -

3,0 cm bei Erwachsenen und entsprechend der größeren Ventralrotation durchschnittlich 1,0 cm bei Kindern.

Die horizontale Schwereliniendistanz s ist der horizontale Abstand der queren Hüftgelenkachse zur Schwerelinie. Sie beträgt im Stehen durchschnittlich + 1,5 cm, d.h. die Schwerelinie verläuft 1,5 cm dorsal von der queren Hüftgelenkachse. Die Schwerelinie trifft die horizontale Gelenkdistanz in ihrer Mitte. Die Schwerkraft übt im Stehen also auf die quere Hüftgelenkachse und auf das Lumbosacralgelenk ein Drehmoment von gleicher Größe aus, aber in entgegengesetzter Richtung.

Der wirksame Körperschwerpunkt im Sitzen ist der supraischiale Partialschwerpunkt, der gebildet wird durch die Summe der Teilschwerpunkte des Rumpfes, des Kopfes und der beiden Arme. Bei einem mittelgroßen Mann mit normalem Körperbau beträgt der Abstand des supraischialen Partialschwerpunktes von der Sitzfläche und damit von der Unterstützungsfläche etwa 40 cm.

Beim Übergang vom Stehen zum Sitzen findet neben einer Beugung im Kniegelenk auch eine Beugung im Hüftgelenk, eine Dorsalrotation des Beckens um die quere Hüftgelenkachse, eine Ventralflexion der LWS und eine Schwerpunktverlagerung statt. Das Ausmaß der Beckenbewegung zeigt die Beckenachse durch ihre Stellungsänderung an. Beim Übergang vom Stehen zur mittleren, entspannten Sitzhaltung (SH) erfolgt eine Dorsalrotation des Beckens um 35°. Die Oberschenkelachse braucht im Hüftgelenk also nur eine Beugebewegung von 55° zu leisten. Die Ventralflexion der 3 unteren Lendensegmente ist zur Kom-

pensation der Dorsalrotation des Beckens erforderlich. Der Körperschwerpunkt bewegt sich in den ersten Phasen des Hinsetzens nahezu senkrecht nach unten und bleibt über der durch die Füße gebildeten Unterstützungsfläche. Im Moment des Aufsetzens bewegt er sich in einem scharfen Bogen nach hinten und oben. Er stellt sich damit auf die durch Gesäß und Oberschenkel gebildete neue Unterstützungsfläche ein und bildet den supraischialen Partialschwerpunkt.

Es werden 4 typische Sitzhaltungen unterschieden: die mittlere, entspannte und mittlere, angespannte sowie die vordere und hintere Sitzhaltung. Der Wechsel von einer SH in eine andere geht einher mit einer Beckenrotation und einer Wirbelsäulenbewegung. Auch im Sitzen ist die quere Hüftgelenkachse die Drehachse, um welche die Beckenrotation erfolgt (mit Ausnahme bei der hinteren SH).

Das Becken ist bei allen Sitzhaltungen gegenüber dem Stehen dorsalrotiert. Der Beckenachsenwinkel ist in der vorderen SH mit durchschnittlich 25° am kleinsten und in der hinteren SH mit durchschnittlich 75° am größten. Von der vorderen zur hinteren Sitzhaltung erfolgt also eine Dorsalrotation um 50°. In den beiden mittleren Sitzhaltungen bewegt sich der Beckenachsenwinkel zwischen 35° und 50°. Die horizontale Schwerelinien-distanz im Sitzen als horizontaler Abstand der queren Hüftgelenkachse zum Lot aus dem supraischialen Partialschwerpunkt ist in allen SHn in der Regel negativ, d.h. die Schwerelinie verläuft ventral von der queren Hüftgelenkachse. In den mittleren SHn beträgt sie durchschnittlich - 1,2 cm, in der

vorderen SH im Durchschnitt - 3,0 cm. In der hinteren SH kommt der supraischiale Partialschwerpunkt wegen der Rückenanlehnung nicht zur Geltung.

Beim Übergang von der mittleren, entspannten zur mittleren, angespannten SH findet eine Dorsalflexion der LWS statt. Wird von der mittleren, angespannten SH aus eine vordere SH eingenommen, so wird eine Ventralflexion durchgeführt und beim Übergang von der vorderen zur hinteren SH wieder eine Dorsalflexion. Beim Wechsel zwischen den einzelnen SHn ist das Bewegungsausmaß im unteren Bewegungssegment (LV/SI) mit Werten zwischen 2° und 3° am kleinsten und im oberen Bewegungssegment der LWS (LI/LII) mit 5° - 7° am größten.

Das Körpergewicht wird in den verschiedenen Sitzhaltungen in unterschiedlichem Maße auf Sitzfläche, Fußunterlage und Rükkenlehne übertragen. In der mittleren, entspannten und der mittleren, angespannten SH wird die Sitzfläche mit etwa 80 % des Körpergewichts belastet. In der vorderen SH verringert sich diese Belastung auf etwa 60 % des Körpergewichts. In der hinteren Sitzhaltung werden 75 % des Körpergewichts auf die Sitzfläche, 10 % auf die Rückenlehne und 15 % auf die Fußunterlage übertragen.

Literaturverzeichnis

ALBRECHT, K. — Die Fehlstellung des präsakralen Wirbels und ihre Bedeutung bei der Diagnose des Bandscheibenprolapses
Fortschr. Röntgenstr. 79 (1953): 461 - 470

BENNINGHOFF, H. — Lehrbuch der Anatomie, Bd. I, Urban und Schwarzenberg, München, Berlin 1960

BERQUET, K.H. v. — Sitzschaden - Haltungsschaden
Med. Welt 24, (1966): 1306 - 1313

BRAUS, H. und ELZE, C. — Anatomie des Menschen, Springer-Verlag, Berlin 1954

FICK, R. — Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Bd. II und III,
Fischer-Verlag, Jena 1910

GRANDJEAN, E. — Sitting Posture - Sitzhaltung - Posture Assise, Taylor & Francis, London 1969

GROH, H. — Über Entwicklungstendenzen der Biomechanik
Sportarzt und Sportmedizin 8, (1968): 351

ders. — Persönliche Mitteilungen, 1970

HOCHMUTH, G. — Biomechanik sportlicher Bewegungen
Sportverlag Berlin 1967

JUNGHANNS, H. Die anatomischen Besonderheiten des fünften Lendenwirbels und der letzten Lendenbandscheibe
Arch. orthop. Unfall-Chir. 33, (1933): 260 - 278

JÜRGENS, H.W. Die Verteilung des Körperdruckes auf Sitzfläche und Rückenlehne als Problem der Indústrieanthropologie
in: GRANDJEAN - Sitting Posture, 1969

KRUKENBERG, C.Fr.W. Beiträge zur normalen und pathologischen Mechanik und Statik des Beckens
Z. orthop. Chir. (Beilageheft) 47, (1926): 140 - 152

LEGER, W. Schwerpunkt, Wirbelsäule und Becken auf Röntgenganzaufnahmen, Beilageheft
Z. orthop. 88, (1957): 446 - 451

ders. Die Form der Wirbelsäule mit Untersuchungen über ihre Beziehung zum Bekken und die Statik der aufrechten Haltung
Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart 1959

MARTIN, E. Statik und Form des menschlichen Bekkens
Anat. Anz. 97, (1949/50): 226 - 242

MARTIUS, H. Lehrbuch der Geburtshilfe
Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1964

MEYER, H. v. — Die Mechanik des Sitzens, mit besonderer Rücksicht auf die Schulbankfrage
Arch. path. Anat. 38, (1867): 15 - 30

MÜLLER, W. und ZWERG, H.G. — Röntgenologisch-metrische Untersuchungen über Form und Stellung des Kreuzbeins mit Beobachtungen über die Entstehung der Spondylolisthesis
Beitrag klin. Chir. 149, (1929): 155

OLLEFS, H. — Zur Orthopädie des Sitzens
Z. Orthop. 80, (1951): 573 - 596

PSCHYREMBEL, W. — Klinisches Wörterbuch,
Walter de Gruyter u. Co., Berlin 1969

SCHEDE, F. — Grundlagen der körperlichen Erziehung
Ferdinand-Enke-Verlag, 1961

SCHMORL, G. und JUNGHANNS, H. — Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Praxis
Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1957

SCHOBERTH, H. — Sitzhaltung, Sitzschaden, Sitzmöbel
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962

SPERANSKY, A.D. — Über die lumbosacrale Abteilung der Primatenwirbelsäule
Z. f. Anatomie u. Entwicklungsgeschichte, 78, (1926): 111 - 135

STRASSER, H. — Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik, Bd. II, Springer-Verlag, Berlin 1913

Herrn Prof. Dr. med. Herbert Groh bin ich zu besonderem Dank verpflichtet für die Überlassung des Themas, für die stets entgegenkommende Unterstützung, die vielfältigen Anregungen, sowie für seine persönliche Betreuung, mit denen er diese Arbeit wesentlich gefördert hat.

Dem Institut für Kreislaufforschung der Deutschen Sporthochschule Köln und seinem Direktor, Prof. Dr. med. Hollmann, danke ich für die Bereitstellung der Untersuchungsräume und der Röntgenapparatur.

Mit Nachdruck möchte ich auch den Mitarbeitern des Instituts für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule Köln danken, und zwar Fräulein G. Marx für ihre geduldige und sorgfältige Ausführung der Abbildungen, Herrn H. Dalmus für die Konstruktion und Anfertigung der Schwerpunktwaage, den Herren Dipl.-Phys. W. Baumann, Dipl.-Phys. P. Galbierz und Dipl.-Phys. J. Klauck für ihre Beratung bei mathematischen und physikalischen Fragestellungen, Herrn H. Peuker für die Messungen an der Schwerpunktwaage, Frau Dr. med. U. Gollasch für ihre Mithilfe bei der Herstellung der Röntgenpausen, Fräulein H. Mucha für ihren Beitrag zur mathematischen Aufbereitung des Zahlenmaterials und Fräulein R. Popp und Frau B. Banuasisi für die Erledigung der umfangreichen Schreibarbeiten.

In meinen Dank möchte ich auch einschließen Herrn Dipl.-Ing. Seemann von der Firma SIEMENS für seine wertvolle Beratung bei der Herstellung der Röntgenbilder.

L e b e n s l a u f

Am 27. September 1939 wurde ich als Tochter des Studienrates Dr. Bernhard Linz und seiner Ehefrau Dora, geb. Pfeiffer, in Berlin geboren. Von 1945 bis 1953 besuchte ich die Grundschule Berlin-Altglienicke, danach die Oberschule Adlershof, wo ich 1958 das Reifezeugnis erwarb. Im Rahmen des Diakonischen Jahres arbeitete ich ein Jahr lang im Königin-Elisabeth-Hospital in Berlin-Lichtenberg. 1959 legte ich die Ergänzungsprüfung zu meinem Ostberliner Abitur in Westberlin ab.

Mit dem WS 1959/60 begann ich das Studium der Medizin an der Freien Universität Berlin. Nach meiner Flucht in die BRD studierte ich an den Universitäten Mainz, Heidelberg und Köln. Nach dem WS 1967/68 legte ich die ärztliche Prüfung an der Universität zu Köln ab. Meine Medizinalassistentenzeit absolvierte ich im Gemeindekrankenhaus Hermülheim und in der Medizinischen Klinik der Universität zu Köln. Am 1. Januar 1970 wurde mir die Approbation als Ärztin erteilt. Von Juni bis Dezember 1970 arbeitete ich als wissenschaftliche Assistentin am Institut für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule Köln, danach bis März 1972 als Assistentin in der Pathologie des St. Joseph Hospital in Memphis/Tenn. (USA). Seit Mai 1972 bin ich als Assistenzärztin im Sanatorium der LVA Hessen in Bad Schwalbach beschäftigt.

1964 heiratete ich den Studenten der Wirtschaftswissenschaften Herfried A. Kroll. Am 19. März 1970 wurde unsere Tochter Sabrina geboren.